

Ble 1



Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération

Centre
de
Montpellier

MODIFICATIONS PHYSIQUES
D'UN SOL FERRALLITIQUE
SOUS DIFFÉRENTS MODES
DE MISE EN CULTURE
EN CÔTE D'IVOIRE FORESTIÈRE
CONSÉQUENCES SUR LE DÉVELOPPEMENT
DU MAÏS

Joséphine AMA TAMIA

Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés

Document Orstom Montpellier, 1997, n° 3

Joséphine AMA TAMIA

MODIFICATIONS PHYSIQUES
D'UN SOL FERRALLITIQUE
SOUS DIFFÉRENTS MODES
DE MISE EN CULTURE EN CÔTE D'IVOIRE
CONSÉQUENCES SUR LE DÉVELOPPEMENT DU MAÏS



28 AVR. 1998

068
PEDAMP
AMA

Montpellier
1997

F



Modifications physiques d'un sol ferrallitique sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière. Conséquences sur le développement du maïs.

RESUME

La Côte d'Ivoire connaît une régression rapide de sa forêt sous l'effet de l'extension des défrichements, et des terres, dégradées et incultes, laissées à l'abandon après seulement quelques années de culture. La raison en est que les systèmes agricoles traditionnels et les systèmes mécanisés existants s'avèrent insuffisamment productifs ou trop dégradants pour les sols. De ce fait, ils ne permettent pas d'assurer, de façon soutenue, les productions agricoles nécessaires dans le contexte démographique et socio-économique actuel.

La recherche de modes de défrichement et de mise en culture mieux adaptés est une nécessité absolue pour réduire la pression sur les terres et l'extension de la déforestation. Dans cette perspective, ce travail s'efforce de préciser la nature et l'importance des effets de trois modes de défrichement (traditionnel, semi-mécanisé, mécanisé) et trois types de travail du sol (sans labour, labour superficiel, labour profond), les plus courants, sur les modifications de l'état physique du sol et sur le développement du maïs, après quatre années de culture en Basse Côte d'Ivoire (Bécédi : Site IBSRAM).

L'étude est conduite de façon stratifiée, avec trois principaux niveaux d'analyse : parcelle, zones de différenciations intraparcellaires et profil cultural. Elle privilégie l'analyse des modifications morpho-structurales et leurs conséquences sur l'enracinement et la production de maïs.

En l'absence de labour, il est mis en évidence l'effet négatif des défrichements mécanisés par rapport au traditionnel, à cause d'une dégradation accentuée de la structure et du spectre poral, réduisant l'enracinement à la partie supérieure du sol et la production du maïs.

Le labour atténue l'effet négatif du défrichement mécanisé sur le développement des racines, en raison du volume plus important de sol meuble. Cependant, du fait du taux de levée plus faible et de l'hétérogénéité spatiale existante, avec des zones décapées peu fertiles, le rendement moyen du maïs sur parcelles mécanisées labourées n'est pas supérieur à celui des autres traitements.

Malgré les difficultés dues à la présence d'éléments grossiers en proportion variable dans le sol étudié, il se dégage une grande cohérence entre les modifications physiques (ainsi que chimiques et biologiques) du sol apparaissant à différents niveaux d'échelle (jusqu'au niveau des micro-organisations) et les caractères de la culture du maïs, en fonction des contraintes imposées par les différents types de mise en culture qui ont été comparés.

Selon les situations d'application envisagées (catégories d'agriculteurs, types de cultures, ...), des recommandations différentes sont formulées pour s'opposer à la dégradation de l'état du sol pendant et à la suite des défrichements de forêt.

MOTS CLES : Côte d'Ivoire, défrichement, labour, évolution, micromorphologie, porosité, enracinement, physique du sol, sol ferrallitique, maïs, profil cultural.

Physical modifications of an ultisol in relation with different cultivation methods in the forest region of Ivory Coast. Consequences on maize growth.

ABSTRACT

This study deals with the characterization of the effect of three different methods of forest clearing (traditional, semi-mechanized, mechanized) and of soil tillage (zero-tillage, superficial ploughing, deep ploughing) , on soil evolution and on corn growth and yield, after a four-year cultivation period, in the South of Ivory Coast.

Conducted on a stratified approach, three main scales of analysis have been studied: plot, intra-plot differentiation zone, and soil profile; a specific interest was put on for the morphostructural modifications of soil and results on root development and production of maize.

With zero-tillage, the mechanized clearing method appeared to be the worst, leading an increased degradation of the structure and porosity, with a poor root settling in the upper soil and a low maize yield.

With mechanised clearing, ploughing improved root development in the surface horizon because of a greater volume of loose soil at the upper part. But, because of a greater soil heterogeneity on the plot with low fertility areas, plant population was reduced and the mean maize yield was not improved.

The high proportion of gravels in the soil made the study difficult to conduct. But the various modifications of the soil at the different scale levels studied (down to micro-organisation) were in good agreement with the characteristics of maize crop, according to the constraints of clearing and cultivation methods.

Recommendations were finally made for various management conditions, in order to prevent soil degradation from forest clearing and post-cultivation.

KEY WORDS : clearing, ploughing, evolution, micromorphology, porosity, settling, soil physics, ultisol, maize, cropping profil.

AVANT-PROPOS

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans cette thèse a été effectué, pour sa phase de terrain, sur les essais du projet «Technique de défrichement et types de travail du sol » du réseau “Sols acides” de l’IBSRAM à Bécédi, en Côte d’Ivoire.

Les analyses de laboratoire, ainsi que la conception du document ont été menées au Laboratoire d’Etude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC) du centre ORSTOM de Montpellier. Ce travail s’inscrit dans le programme de l’unité «*Comportement physique et système d’échange ionique* » qui réalise essentiellement des études de caractérisation des sols. Celles-ci permettent, notamment, de comprendre ou de prévoir le comportement de ces sols dans différents systèmes de culture.

Je ne saurais assez remercier tous ceux qui, durant la réalisation de ce travail, m’ont apporté leur expérience scientifique, leur concours financier, administratif et moral qui trouvent ici leur aboutissement.

Mes remerciements à M. le Ministre de la Recherche Scientifique, de l’Enseignement supérieur et de l’Innovation Technologique qui, depuis 1992, m’a permis de bénéficier d’une bourse d’études de 3 cycle en France.

Mes remerciements à M. l’Ambassadeur de Côte d’Ivoire en France et à toute l’équipe du Service Etudiant qui m’ont permis de vivre de manière descendante pendant toutes ces années en France. Je leur exprime ma reconnaissance pour leur compréhension et leur sympathie.

Mes remerciements vont ainsi à Mme Evelyne GARNIER-ZARLI, Professeur à l’Université Paris XII, qui, en m’autorisant à m’inscrire en thèse, m’a permis d’amorcer ce travail de recherche. Je lui suis reconnaissante de m’avoir accordé sa confiance en acceptant la direction de cette thèse;

Mes remerciements à M. Roland MOREAU, Directeur de recherche à l’ORSTOM, centre de Montpellier, qui m’a accueillie et a accepté d’assurer l’encadrement de ce travail. Je le remercie pour tout l’investissement consenti à la réalisation de ce travail. Les discussions que nous avons eues, ses conseils m’ont aidé à faire l’effort de réflexion nécessaire à la rédaction de ce document. Je lui exprime ma profonde reconnaissance pour tout l’apport dont j’ai bénéficié de sa part, pour sa compréhension et sa patience. Merci, M. Moreau.

Je suis sensible à l’honneur que me fait M. Philippe LOUGUET, Professeur à l’Université Paris XII, d’avoir bien voulu présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont également à l’endroit de M. Marc LATHAM, Directeur de recherche et Directeur du CNEARC, qui alors Directeur de l’IBSRAM, a permis que je bénéficie du support expérimental du projet «Techniques de défrichement et les types de travail du sol » du réseau “Sols acides” en Basse Côte d’Ivoire. Je le remercie d’avoir accepté d’être le rapporteur de cette thèse, malgré ses nombreuses occupations.

Je tiens à remercier Mme Christine AUBRY, Chercheur à l'INA-PG, d'avoir accepté de me faire l'honneur de siéger à ce jury de thèse.

Je ne saurais assez remercier M. Gballou YORO, Maître de recherche à l'IDEFOR-DCC, qui a permis la définition du sujet de thèse, pour son encadrement scientifique durant la phase de terrain, pour son soutien matériel, financier et moral, et pour avoir également accepté de siéger au jury de thèse. Sans ses efforts, il y aurait une thèse, mais peut-être pas sur ce sujet. Je lui suis très reconnaissante pour tout.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à l'élaboration de cette recherche.

Mes remerciements vont à l'endroit de M. BOULANGER, Enseignant chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme, Université d'Aix-Marseille III pour m'avoir mise en contact, après mon DEA, avec l'ORSTOM et pour ses précieux conseils dans l'élaboration de ce travail.

Ma gratitude va à l'endroit de M. Benoît JAILLARD, Chercheur au Laboratoire des Sciences du Sol de l'INRA de Montpellier, qui, après m'avoir initiée à l'étude microscopique des sols pendant mon stage de DEA en 1992, n'a pas hésité à m'apporter une aide particulière dans l'étude micromorphologique inhérente à cette thèse. Merci pour sa sympathie.

A M. LUCIEN Roger sans qui les observations au microscope électronique à balayage ne seraient pas faites, merci.

A M. FEDOROFF, Chercheur à l'INA-PG, et à toute son équipe qui ont réalisé l'imprégnation et la confection des lames minces du sol, merci.

Mes remerciements à l'atelier de lames minces de l'INRA de Rennes et à M. Yannick BENARD pour sa promptitude dans la confection des lames minces du sol et pour sa sympathie.

A M. Michel FORTIER, Chercheur au CIRAD, pour tout l'investissement lors des analyses au porosimètre à mercure et pour l'exploitation technique des données en physique du sol, merci. Vous m'avez été d'une aide précieuse dans ce domaine si important de cette thèse.

Mes sincères remerciements à tous les chercheurs du Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés de l'ORSTOM de Montpellier pour leur accueil, leur concours scientifique, matériel et moral A la réalisation de cette thèse, en particulier:

A M. Christian FELLER, Directeur de recherche à l'ORSTOM et Responsable de l'UR 35, pour ses conseils si utiles;

A M. Georges DE NONI, Responsable du Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés, pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires à l'aboutissement de ce travail. Veuillez recevoir ma profonde reconnaissance pour tout;

A M. Marc PANSU pour m'avoir aidé lors des analyses statistiques, pour sa sympathie et son amitié et sa confiance. Merci pour le "Déca" de tous les jours.

Je remercie Mmes Brigitte Le ROUGET, Evelyne GAVINELLI, Christine LARRE-LARROUY et Melle Anne-Lyse VIALA, pour toute leur aide précieuse dans l'élaboration de ce travail.

Enfin, je ne saurais terminer sans exprimer ma reconnaissance à mes proches qui m'ont entourée de tout leur soutien pendant ces moments quelque peu éprouvants.

Ma reconnaissance à mon collègue et ami Ernest KOUAKOUA pour tout le soutien moral qu'il m'a apporté à des moments où j'en avais vraiment besoin.

Ma reconnaissance à ma soeur Nadia EL MAY pour son concours dans l'élaboration de ce document.

A mon frère et ami, ces deux termes n'ont de sens que dans la pratique. Les mots sur une feuille ne sauraient exprimer ce que je ressens à ton égard. Pour tout ce que tu as fait, seul Le Créateur de cette science, Celui à qui nous devons tout et que nous honorons de tout notre être, notre Dieu, te le rendra. Simplement, merci Séraphin MAKANY.

A ma grand-mère Yah TAMIA, mes parents Kobena DONGO et Akoua YEBOUA, mes frères et soeurs, ma fille Audrey et à mon bien-aimé ABINA Koffi Jean-Claude, j'adresse mon affectueuse reconnaissance pour votre soutien, vos encouragements et votre patience pendant toutes ces années d'absence. Puisse l'ETERNEL notre SAUVEUR et MAITRE nous permettre de retrouver des jours agréables désormais ensemble. A Lui soit toute la gloire dans le NOM de JESUS; Amen!

A mes parents Kobena DONGO et Akoua YEBOUA,
A mon bien-aimé Koffi Jean-Claude ABINA,
A ma fille Audrey-Marie Michelle ABINA,

A l'Eternel.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

	Pages
RESUME	1
ABSTRACT	2
AVANT PROPOS	3
INTRODUCTION GENERALE	15
1. L'agriculture extensive : pratique dominante dans les pays en développement	16
2. Aperçu sur la situation agricole en Côte d'Ivoire	16
3. L'agriculture itinérante en Côte d'Ivoire : Un système en déséquilibre environnemental et socio-économique.	17
4. Alternative ou tentative de solution.	19
5. Le projet IBSRAM en Côte d'Ivoire : ses objectifs	21
6. Notre intervention par cette Thèse	22
 PREMIERE PARTIE :	
 LES DEFRICHEMENTS FORESTIERS EN COTE D'IVOIRE ET LE SITE EXPERIMENTAL DE BECEDI	23
 CHAPITRE 1 : LES PRINCIPAUX TYPES DE DEFRICHEMENTS EFFECTUES EN BASSE-COTE D'IVOIRE.	24
1. LE DEFRICHEMENT TRADITIONNEL	27
1. 1. DEFRICHEMENT AVEC ABATTAGE PARTIEL DES ARBRES	27
1. 2. DEFRICHEMENT AVEC ABATTAGE DE LA TOTALITE DES ARBRES	28
1. 3. INCIDENCES DU DEFRICHEMENT TRADITIONNEL	28
2. DEFRICHEMENT MOTORISE.	31
2. 1. DEFRICHEMENT AVEC UNE SEULE MACHINE	32
2. 2. DEFRICHEMENT PAR TRAINAGE DE CHAINE	32
2. 3. DEFRICHEMENT PAR ETAPES SUCCESSIVES	32

2. 4. DEFRICHMENT SEMI-MOTORISE	32
2. 5. INCIDENCES DES DEFRICHEMENTS MOTORISE ET SEMI-MOTORISE	33
CHAPITRE 2 : LA REGION DE SIKENSI ET L'IMPLANTATION DE BECEDI	37
1 LE CONTEXTE LOCAL	38
1.1. LES CARACTERES DU MILIEU PHYSIQUE	38
1. 1. 1. Situation géographique	38
1. 1. 2. Climat	38
1. 1. 3. Végétation	42
1. 1. 4. Géologie et modelé	42
1. 1. 5. Sols et unités pédologiques	42
1. 1. 5. 1. Les caractères morphologiques des unités de sol	44
1. 1. 5. 2. Caractéristiques analytiques	44
1. 2. LES CARACTERISTIQUES AGRICOLES DE LA REGION DE SIKENSI	48
1. 2. 1. Les cultures vivrières	48
1. 2. 2. Les cultures industrielles	49
1. 2. 3. Critères de choix des parcelles pour l'implantation des cultures	50
1. 2. 4. Calendrier et techniques culturaux	50
2. L'EXPERIMENTATION DU SITE IBSRAM DE BECEDI	51
2. 1. SYSTEME DE CULTURE	51
2. 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	52
2. 3. MODES DE DEFRICHMENT	52
2. 4. LE TRAVAIL DU SOL	53
2. 5. LES AUTRES INTERVENTIONS TECHNIQUES	54
2. 5. 1. Le semis	54
2. 5. 2. Fertilisation	54
2. 5. 3. Entretien des cultures	55
2. 6. LES CONTRAINTES IMPLIQUEES DANS LA DIFFERENCIATION DES SITUATIONS ETUDIEES	55

DEUXIEME PARTIE :

LES EFFETS DU DEFRICHEMENT ET DU TRAVAIL DU SOL SUR LA CROISSANCE DU MAIS ET SUR L'EVOLUTION DU SOL 57

CHAPITRE 1 : RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS A L'ECHELLE PARCELLAIRE 61

1. PROTOCOLES D'ETUDE 62

1. 1. DETERMINATION DES PARAMETRES EDAPHIQUES 62

1. 1. 1. Densité apparente 62

1. 1. 2. Résistance à la pénétration 63

1. 1. 3. Humidité 63

1. 1. 4. Stabilité structurale 64

1. 1. 5. Granulométrie 64

1. 1. 6. Déterminations chimiques 65

1. 2. LES PARAMETRES AGRONOMIQUES 65

1. 2. 1. Taux de levée 65

1. 2. 2. Evaluation de la production végétale 66

1. 2. 3. Evaluation de l'enracinement 66

1. 2. 4. Inventaire faunique 67

2. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PARAMETRES DU SOL 68

2. 1. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL 68

2. 1. 1. Densité apparente 68

2. 1. 2. Résistance mécanique à la pénétration 69

2. 1. 3. La stabilité structurale 72

2. 2. LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES 78

2. 2. 1. Le Carbone et l'azote 78

2. 2. 2. pH et complexe d'échange 79

2. 3. RELATION ENTRE LES PARAMETRES PHYSIQUES ET LES PARAMETRES CHIMIQUES 82

3. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA PRODUCTION DU MAIS 83

3. 1. RENDEMENT DU MAIS 83

3. 2. ENRACINEMENT DU MAIS 87

3. 3. RELATIONS ENTRE RACINES ET PRODUCTION 92

4. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA FAUNE DU SOL 93

5. CONCLUSION SUR L'APPROCHE A L'ECHELLE PARCELLAIRE	100
5. 1. POUR LES PARAMETRES DU SOL	100
5. 2. POUR LA PRODUCTION	101
 CHAPITRE 2 : LES RESULTATS OBTENUS A L'ECHELLE DES ZONES DE DIFFERENCIATION INTRAPARCELLAIRE	103
1. PROTOCOLES D'ETUDES	104
1. 1. PARAMETRES EDAPHIQUES	104
1. 1. 1. Caractérisation morphologique	104
1. 1. 2. Paramètres analytiques	105
1. 2. PARAMETRES AGRONOMIQUES	105
2. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PARAMETRES DU SOL	106
2. 1. HETEROGENEITE DE LA SURFACE DU SOL IMMEDIATEMENT APRES LE DEFRICHEMENT	106
2. 1. 1. Effets du défrichage traditionnel sur la surface du sol	106
2. 1. 2. Effets des défrichements semi-mécanisé et mécanisé	107
2. 1. 2. 1. Taux d'occupation des microreliefs	107
2. 1. 2. 2. Les caractéristiques chimiques des microreliefs	111
2. 2. HETEROGENEITE DES PARCELLES APRES QUATRE ANNEES DE PRATIQUES CULTURALES	115
2. 2. 1. Taux d'occupation des types de surface	115
2. 2. 2. Caractéristiques analytiques du sol selon les types de surfaces A et B	117
2. 3. CONCLUSION	120
3. CARACTERISTIQUES DE DEVELOPPEMENT ET DE PRODUCTION DU MAIS	120
3. 1. TYPOLOGIE DES PLANTS DE MAIS ET INFLUENCE DES TRAITEMENTS SUR L'ASPECT VEGETATIF DES PLANTS DE MAIS.	120
3. 2. REPARTITION INTRAPARCELLAIRE DES TYPES DE PLANTS DE MAIS SELON LES ZONES A ET B	126
3. 3. RELATION ENTRE L'ASPECT AERIEN, L'ENRACINEMENT ET LA PRODUCTION	127
4. CONCLUSION	130
 CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES A L'ECHELLE DU PROFIL CULTURAL	134
1. DIFFERENCIATION DES PROFILS CULTURAUX	136
1. 1. PROTOCOLES D'ETUDE	136

1. 2. TYPOLOGIE DES UNITES MORPHOLOGIQUES HOMOGENES (UMH)	137
1. 3. IMPACT DES PRATIQUES CULTURALES SUR L'ORGANISATION DU PROFIL CULTURAL	141
1. 3. 1. Différenciation du profil sous forêt témoin	141
1. 3. 2. Effet du défrichement	142
1. 3. 3. Effet du labour	143
1. 3. 4. Conclusion	147
1. 4. RESISTANCE MOYENNE A LA PENETRATION (RMP) DES UMH	148
1. 4. 1. Parcelle témoin sous forêt (F)	148
1. 4. 2. Effet du défrichement sur la résistance moyenne à la pénétration (RMP).	151
1. 4. 3. Effet du labour sur la RMP	151
2. CARACTERISTIQUES PORALES DES UMH	155
2. 1. PROTOCOLES D'ETUDE	155
2. 2. LE PROBLEME DES ELEMENTS GROSSIERS	157
2. 2. 1. Evaluation des éléments grossiers	157
2. 2. 2. Spectre poral des éléments grossiers	158
2. 2. 3. Influence des teneurs en éléments grossiers sur la porosité des UMH	158
2. 3. LA POROSITE TOTALE DES UNITES MORPHOLOGIQUES HOMOGENES	162
2. 3. 1. Comparaison des porosités totales des UMH obtenues par les deux méthodes (méthode par les densités et porosimétrie à mercure)	162
2. 3. 2. Variation de la porosité totale selon les situations	165
2. 4. LES CARACTERISTIQUES PORALES DES UMH D'APRES LES MESURES DE POROSIMETRIE A MERCURE	167
2. 4. 1. Les classes porales	170
2. 4. 2. Comparaison des spectres poraux des UMH selon les différents traitements	173
3. MICROMORPHOLOGIE DES UNITE MORPHOLOGIQUES HOMOGENES (UMH)	184
3. 1. MICROSCOPIE OPTIQUE	184
3. 1. 1. Protocoles d'étude	184
3. 1. 1. 1. Préparation des échantillons	184
3. 1. 1. 2. Les obstacles rencontrés	184
3. 1. 1. 3. Les observations	185
3. 1. 1. 4. Paramètres considérés	186
3. 1. 2. Typologie de la micromorphologie des unités morphologiques homogènes et effet des traitements	187

3. 2. ULTRASTRUCTURE DES UMH	194
3. 2. 1. Préparation des échantillons	194
3. 2. 2. Résultats	195
4. RREPARTITION DES RACINES DE MAIS DANS LES UMH	199
4. 1. DISTRIBUTION RACINAIRE DANS LES UMH DES PARCELLES SANS LABOUR	199
4. 2. DISTRIBUTION RACINAIRE DANS LES UMH DES PARCELLES LABOUREES	201
5. DISCUSSION ET CONCLUSION SUR L'ETUDE DU PROFIL CULTURALE ET DES UMH	205
CONCLUSION GENERALE	212
BIBLIOGRAPHIE	223
ANNEXES	240
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	264

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

1. L'agriculture extensive : pratique dominante dans les pays en développement

En dehors de l'Europe et de l'Amérique du Nord, où la production agricole couvre à l'excès les besoins alimentaires de la population, grâce à une agriculture stabilisée, le reste du monde croupit sous le poids d'une insuffisance de production agricole (BRADY, 1996). La production alimentaire constitue une préoccupation majeure et un déficit crucial à relever dans les pays en développement.

Dans ces pays, notamment en zone forestière, l'agriculture est essentiellement de type itinérant sur brûlis, avec souvent de faibles rendements qui n'arrivent pas à couvrir les besoins alimentaires des populations locales.

L'agriculture itinérante sur brûlis consiste à couper une petite portion de forêt, à la brûler, puis à la cultiver sur une courte période (2 à 3 ans), avant d'abandonner le terrain, après les récoltes, à la jachère plus ou moins longue (4 à 20 ans et même plus), pour une autre portion nouvelle de forêt (SANCHEZ, 1976). Selon BRADY (1996), près de 410 millions d'hectares de forêts tropicales sont ainsi mis en jeu par cette forme d'agriculture, ce sont 30 % des terres arables du globe qui sont concernées, montrant ainsi l'importance des surfaces affectées.

Dans ces régions où l'accès à la fertilisation chimique n'est pas à la portée des populations paysannes, à cause de leur situation économique très modeste, la pratique du brûlis apparaît incontournable eu égard à la médiocre fertilité de la plupart des sols ferrallitiques sous forêt. La végétation forestière luxuriante qui vit de ses propres réserves et recyclages (DUPUY, 1995) constitue, en effet, le principal réservoir potentiel de fertilité du sol (MOREAU et GODEFROY, 1985). Le brûlage permet de restituer au sol, par les cendres, les nutriments accumulés dans la biomasse végétale (MOREAU, 1983, 1986 ; COLLINET et *al.*, 1984). Cette pratique constitue, selon les estimations, le mode de vie de près de 500 millions de personnes, dont environ 300 millions dans les pays d'Afrique au Sud du Sahara (FAO, 1995 et BANQUE MONDIALE, 1989 cités par VAN REULER, 1996). La Côte d'Ivoire est au nombre de ces pays.

2. Aperçu sur la situation agricole en Côte d'Ivoire

L'économie de la Côte d'Ivoire repose, en zone forestière, sur la production d'importantes denrées agricoles d'exportation, principalement le cacao et le café pour lesquelles ce pays figure au rang des trois premiers producteurs mondiaux. La Côte d'Ivoire est aussi un grand producteur d'huile de palme, de latex, d'ananas et de bananes.

La pratique des cultures de rente, soit en monoculture ou en cultures associées, a toujours été réalisée aux dépens de la forêt et au détriment des cultures vivrières. Ces dernières ont jusqu'alors été pratiquées sur brûlis dans de petites exploitations paysannes à faibles rendements.

La chute de la fertilité des sols, consécutive au défrichement traditionnel et à la mise en culture prolongée des terres, constitue un handicap important à la sédentarisation de l'agriculture dans ces zones forestières. Le paysan est presque inévitablement confronté à l'improductivité, à la prolifération des parasites et au difficile contrôle des mauvaises herbes (COLLINET et *al.*, 1984), dont la compétition avec les plantes cultivées s'accroît avec la durée de l'exploitation et le nombre de cycles cultureux (DE ROUW, 1991). Pour ces raisons, la durée d'exploitation est généralement courte (2 à 3 ans) et le nombre de cycles cultureux ne peut excéder 6 à 8, comme l'atteste DE ROUW (1991) dans le cadre d'essais d'intensification sans intrant réalisés au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Face à ces contraintes, l'agriculteur est obligé, dans sa quête de terre fertile, de défricher d'année en année des surfaces accrues de forêt.

3. L'agriculture itinérante en Côte d'Ivoire : Un système en déséquilibre environnemental et socio-économique.

L'agriculture traditionnelle telle qu'elle était pratiquée à l'origine n'était pas dégradante. Le temps de jachère était suffisamment long (10 à 20 ans, voire 60 ans au sud-ouest du pays) pour permettre un renouvellement de l'écosystème forestier et une restauration de la fertilité du sol (MOREAU et NAMUR, 1978 ; KAHN, 1982). Les rendements, quoique faibles, étaient constants et assuraient la subsistance de la population. Mais cette agriculture itinérante qui utilise des moyens rudimentaires n'est plus adaptée aux conditions d'environnement physique et socio-économique actuelles (TREITZ, 1991).

Plusieurs facteurs démographiques, économiques et fonciers sont à l'origine d'un déséquilibre du système traditionnel. A la croissance démographique normale (3% / an) s'ajoute la migration des populations des régions peu boisées, surtout du centre du pays vers les zones forestières, en quête de milieu propice pour l'implantation des cultures de rente. La pression foncière qui en résulte et le souci d'une autosuffisance alimentaire, ainsi que le besoin des populations de relever leur niveau de vie, exigent un accroissement des surfaces cultivées, donc davantage de nouvelles défriches de forêt avec des jachères de courte durée. A ceci s'ajoute l'introduction de pratiques culturelles plus dégradantes (abattage de la totalité des arbres lors du défrichement, par exemple) issues des zones de savanes et peu adaptées à l'environnement forestier (COLLINET et *al.*, 1984). La végétation forestière ne peut plus se reconstituer et le potentiel de fertilité du sol qui en dépend se dégrade.

Les rendements baissent et les recrues à *Chromolaena odorata* se substituent à la végétation de reconstitution forestière normale, sans toutefois assurer une restauration optimale de la fertilité du sol (DE ROUW, 1993, 1994 ; RUF, 1995 ; SLAATS, 1995).

Ces défrichements et les exploitations industrielles incontrôlées du bois ont entraîné une forte baisse de la superficie du massif forestier. Selon les estimations réalisées (GODO et *al.*, 1989, CANS, 1996), la superficie de la forêt ivoirienne serait tombée d'environ 12 millions d'hectares en 1956 à 2,2 millions d'hectares de nos jours. En considérant que les défrichements se font surtout sur des recrues forestières de 5 à 10 ans et plus, le rythme actuel de déforestation par les défrichements atteindrait 500 000 ha/an. Or la politique de reboisement menée par la SODEFOR (Société Des Forêts) depuis 1990 n'a permis de reboiser que 10 000 ha et au total seulement 105 000 ha des surfaces déforestées ont été replantées de 1966 à 1995. Le rythme de reboisement, de recolonisation ou de reconversion est estimé à environ 5000 ha/an (communication personnelle) ; ce qui est insignifiant par rapport à la vitesse de déforestation. Ce phénomène est d'autant plus gênant qu'il s'est installé, au cours de ces dernières décennies en Côte d'Ivoire, une sécheresse chronique caractérisée par une baisse importante de la pluviométrie et un accroissement du déficit hydrique. La zone forestière sempervirente caractérisée avant 1960 par des déficits hydriques inférieurs à 300 mm présente, depuis 1977, des déficits annuels supérieurs à 500 mm, avec pour conséquence des baisses importantes de rendement : par exemple de l'ordre de 4 t/ha/an pour les cultures industrielles de palmier à huile. Les franges peu déficitaires sont réduites à deux petites zones au sud-ouest, vers le fleuve Cavally, et au sud-est, autour de la région d'Adiaké (QUENCEZ, 1987, 1996 ; N'GUETTIA et *al.*, 1995).

Malgré l'augmentation des surfaces défrichées, l'agriculture traditionnelle, telle qu'elle est pratiquée, ne permet pas d'assurer une autosuffisance alimentaire, notamment pour certaines cultures annuelles comme le riz et le maïs. En outre, les jeunes déscolarisés vivant encore dans les villages ne semblent pas être intéressés par cette agriculture pénible (YORO et *al.*, 1995) et peu rentable.

Il se pose la nécessité d'améliorer les moyens de production et d'augmenter la productivité agricole, mais aussi, celle d'éviter la disparition totale des forêts pour des raisons climatiques et écologiques. Une stabilisation du système s'impose donc.

4. Alternative ou tentative de solution.

Comme alternative à cette crise agricole, la mécanisation de l'agriculture fut introduite dans les années 1970 afin d'améliorer les moyens de production, en modernisant l'agriculture, et d'accroître la productivité agricole ; le désir de la Côte d'Ivoire étant de dépendre le moins possible de l'extérieur pour nourrir sa population.

Cette mécanisation concerna surtout des défrichements au bulldozer des parcelles appartenant à des GVC (Groupement à Vocation Coopérative) et à des sociétés d'Etat (SODESUCRE, SODEPALM...) (YORO et *al.*, 1995).

Malheureusement, cette motorisation occasionna plus de déboires que de satisfactions (YORO et *al.*, 1995). Des blocs sociaux et certains domaines des sociétés d'Etats furent abandonnés à cause de la dégradation rapide des sols soumis au défrichement motorisé (YORO, 1982, 1989, 1993), de l'acidification et de la formation d'horizons durcis limitant le développement des racines des palmiers à huile (CALIMAN et *al.*, 1987 ; CALIMAN, 1990 ; HARTMAN, 1991), et de fortes érosions des parcelles dans les zones de fortes pentes (QUENCEZ, communication personnelle). Ces défrichements et les techniques de mise en culture ne tinrent pas compte des caractères pédologiques initiaux.

Pourtant, les données sur les conséquences des défrichements forestiers et de mise en culture tant en zone intertropicale, d'une manière générale, qu'en Côte d'Ivoire, ne font point défaut. Plusieurs ouvrages de synthèse, en particulier, ceux de NYE et GREENLAND (1960), de SANCHEZ (1976), de LAL et GREENLAND (1979), de LAL et *al.* (1986), pour ne citer que ceux-ci, se sont intéressés aux problèmes de défrichement et de gestion des sols dans les régions de forêt tropicale.

En Côte d'Ivoire, les travaux de BLIC et MOREAU (1977) ont montré que le défrichement mécanisé entraîne un décapage important de l'horizon humifère et des tassements dus à l'impact des roues du tracteur. Les modifications nées des opérations de défrichement conditionnent l'évolution du sol lors de sa mise en valeur. MOREAU (1984, 1986) a aussi souligné que la mise en culture mécanisée des sols forestiers acides s'accompagnait généralement d'une dégradation des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols et, par voie de conséquence, d'une baisse de rendement en deuxième et troisième années de culture. BLIC (1976) a d'ailleurs montré combien brutale pouvait être la chute de matière organique dans les sols après défrichement. Cette baisse de la teneur en matière organique est généralement attribuée à sa minéralisation rapide due à l'accroissement de la température à la surface du sol, et à l'insuffisance des résidus, restitués au sol, pour combler le déficit créé par l'absence de la végétation naturelle (MOREAU, 1978, DUPUY,

1995). Ces chercheurs ont souligné que l'appauvrissement du sol en matière organique est une cause de la dégradation rapide de la structure du sol sous l'effet de l'exploitation.

Face à ces conséquences du défrichement sur l'évolution du sol, des recommandations ont été formulées pour la mise en valeur des zones intertropicales forestières. Elles concernent les conditions de défrichement (ALEGRE et *al.*, 1986 a), l'utilisation des engrais chimiques et des engrais verts (FAO, 1973, 1994), le paillage à partir de résidus de récolte (MOUKAM et TCHATO, 1987), les rotations culturales, l'agroforesterie, les aménagements anti-érosifs (GREENLAND et LAL, 1979, MENSA et OBENG, 1979). En Côte d'Ivoire, OLLAGNIER et *al.* (1978) ont suggéré que l'effet négatif des défrichements mécanisés pouvait être diminué en réduisant les mouvements des engins au sol, et en défrichant en période sèche pour éviter de décaper le sol. En outre, des techniques de plantation en courbe de niveau, des aménagements anti-érosifs et la protection de la surface du sol par des légumineuses de couverture sont conseillés (MOREAU et GODEFROY, 1985 ; CALIMAN, 1995) pour limiter l'érosion excessive des sols cultivés.

Pour résoudre les problèmes fonciers, des études sont en cours sur l'association des cultures vivrières à certaines cultures de rente (cas de l'hévéa), jusque-là pratiquées en monoculture (KOUADIO et *al.*, 1995). Aussi, en butte à ces problèmes fonciers et à l'insuffisance de production alimentaire, des planteurs élaborent, eux-mêmes, des plans de reconversion comme la replantation des cacaoyères vieilles et peu rentables en association avec des cultures vivrières (RUF, 1995).

En somme, les problèmes posés par l'exploitation des sols forestiers en Côte d'Ivoire ont fait l'objet de nombreux travaux portant sur les conditions de mise en valeur des terres. Ils auraient pu permettre d'élaborer des itinéraires techniques de défrichement et de mise en culture qui garantissent une utilisation durable des terres et une meilleure productivité. Cependant, nous constatons que ces recommandations de conduite culturale sont peu suivies. Quoique judicieux, il faut tout de même reconnaître que les différents aspects sont abordés de manière encore trop générale sans tenir suffisamment compte de la spécificité des domaines d'application. Ces propositions restent non accessibles aux populations cibles, par manque de vulgarisation adaptée aux conditions socio-économiques des milieux paysans.

La motorisation de l'agriculture est une nécessité en Côte d'Ivoire, mais elle accélère la dégradation des sols (décapage, lissage, compactage), à cause de la méconnaissance et de l'insuffisance des informations disponibles. Cela concerne en particulier les modifications morpho-structurales, dont les caractères et l'étendue des conséquences sont rarement étudiés de façon systématique et détaillée, dans les opérations de défrichement et de mise en culture. La dégradation du sol, qui résulte du défrichement, est d'autant plus aggravée que des techniques culturales, qui

permettraient de conserver, de protéger et même d'améliorer la structure contre les agents de dégradation, ne sont pas suivies.

Pour que cette motorisation réussisse, elle doit tenir aussi compte des conditions socio-économiques des populations cibles. Il faudrait, en particulier, que ces populations soient mieux averties des conséquences, à court et à long terme, des différentes modalités de défrichement et de gestion ultérieure des sols forestiers. Il apparaît urgent, en améliorant nos connaissances, de repenser les problèmes des défrichements mécanisés, en vue de diminuer leurs effets dégradants sur les sols et d'adapter des techniques de culture, en continu, à la fois plus rentables et moins traumatisantes pour l'environnement.

Aussi, la dégradation des zones, soumises aux systèmes de défrichement et de cultures traditionnels, est devenue inquiétante; d'autant plus que les défrichements répétitifs de forêt ne peuvent plus se faire, à cause des conséquences sur l'environnement et la restriction foncière. Une alternative serait aussi de stabiliser et d'intensifier au mieux les exploitations paysannes par des techniques culturales qui garantissent la durabilité et la productivité des terres agricoles.

5. Le projet IBSRAM en Côte d'Ivoire : ses objectifs

Conduit en Côte d'Ivoire depuis 1989, les objectifs du projet IBSRAM (*International Board for Soil Research and Management*) sur les "Techniques de défrichement et travail de sol" s'insèrent dans l'optique de stabilisation de l'agriculture. Ils visent à contribuer à une bonne connaissance des effets provoqués par les techniques de défrichement (traditionnel et motorisé) et par les techniques de travail (sans labour et labour) sur l'évolution des sols et sur la production agricole, à définir des techniques de gestion des sols adaptées d'après les différents modes de défrichement, à initier des itinéraires techniques de défrichement motorisé qui prédisposent moins les sols à la dégradation et enfin à adapter les techniques culturales aux caractères morpho-pédologiques. Tous ces objectifs concourent à garantir la durabilité de l'agriculture et de la production agricole par une gestion rationnelle reposant sur des techniques performantes et viables (YORO et al., 1995). Ils rejoignent ceux du réseau "Développement des terres pour une agriculture durable en Afrique" de l'IBSRAM (HINTZE, 1993).

Les objectifs énumérés ci-dessus conduisent aux principales hypothèses suivantes :

- l'itinéraire technique du défrichement motorisé pourrait être modifié afin de permettre une meilleure conservation des caractères morpho-pédologiques des sols ;

- des techniques de gestion rationnelle se fondant sur le type de travail de sol, l'utilisation des résidus de récolte et le sarclage pourraient être initiées pour réduire les effets néfastes du défrichement motorisé sur la fertilité et sur la production agricole ;

- l'adaptation des différents travaux de préparation du sol aux caractères morpho-pédologiques pourrait garantir la durabilité de l'exploitation et le maintien d'une bonne production agricole.

6. Notre intervention par cette Thèse

S'appuyant sur le dispositif du projet IBSRAM, notre intervention vise à mieux connaître l'influence des différents modes de défrichement et types de travail du sol proposés sur les modifications morphologiques et structurales du sol. Des éléments de chimie et de biologie du sol seront aussi abordés de manière succincte pour compléter l'étude des caractères physiques et aider à en spécifier les effets.

Nous serons amenés à préciser, d'une part, les caractères de variabilité des modifications découlant des différentes pratiques comparées, et d'autre part, leurs conséquences sur la croissance et la production du maïs. Nous essaierons également de discerner les causes de ces modifications et leurs effets cumulés dans le temps, sur quatre années de mise en culture.

Le travail est abordé selon une approche stratifiée, intégrant différentes échelles d'investigation sur le terrain et au laboratoire, en considérant successivement les paramètres du sol et de la culture de maïs au niveau de la parcelle globale, des zones de différenciation intraparcellaire, du profil cultural, des volumes morphologiques homogènes et des mottes.

Le travail est présenté en deux parties.

La première partie fait le point des différents modes de défrichements effectués en Basse-Côte d'Ivoire de manière générale et des pratiques agricoles de la région de Bécédi. Elle comportera aussi la présentation du site étudié ainsi que le dispositif expérimental des essais et les différentes méthodes de détermination et d'analyse.

La deuxième partie concerne les résultats acquis sur les effets des modes de défrichement et de travail testés sur l'évolution des caractères du sol et sur le comportement et la production du maïs. Elle comportera aussi une analyse des conséquences des pratiques culturales sur l'évolution de la faune du sol.

La conclusion générale dégage les principaux résultats obtenus et indique les principaux enseignements que l'on peut en tirer.

PREMIERE PARTIE

LES DEFRICHEMENTS FORESTIER EN BASSE- COTE D'IVOIRE

CHAPITRE 1

LES PRINCIPAUX TYPES DE DEFRICHEMENTS EFFECTUES EN BASSE COTE D'IVOIRE

LES PRINCIPAUX TYPES DE DEFRICHEMENTS EFFECTUES EN BASSE-COTE D'IVOIRE.

Le défrichement est la phase préalable de la préparation du terrain pour la mise en culture. Il consiste à éliminer la végétation spontanée et s'accompagne souvent de bouleversements plus ou moins importants de l'environnement local et surtout du sol (BLIC et MOREAU, 1977; COLLINET et VALENTIN, 1979 ; ALEGRE et *al.*, 1986 a ; MITJA et VALENTIN, 1989). Les modifications des caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques du sol, nées des opérations de défrichement, constituent des facteurs importants, qui vont conditionner l'évolution du sol et sa productivité pendant sa mise en valeur, dans des proportions non négligeables, selon le type de défrichement (SEUBERT et *al.*, 1977 ; MATONDO et *al.*, 1982) et les outils utilisés (MARSILI et SERVADIO, 1996).

En Côte d'Ivoire, il existe plusieurs types de défrichements, tant traditionnels que motorisés et dont les conduites varient d'une région à l'autre. Quelques uns ont été décrits par des auteurs comme MOREAU (1984), BOKA (1986), GNAMBA (1986), DE ROUW (1991) et VAN REULER (1996), mais n'ont jamais été répertoriés de manière détaillée.

Une étude exhaustive de ces pratiques précultures s'avère cependant nécessaire, compte tenu de leurs divers impacts sur le sol (BOYER, 1978 ; WILSON et LAL, 1982 ; COLLINET, 1984). Et la connaissance des effets spécifiques de chaque mode de défrichement est une condition nécessaire à l'élaboration d'itinéraires techniques moins dégradants. Cette étude trouve ainsi tout son intérêt dans la recherche de solutions à la dégradation des sols forestiers sous culture en Côte d'Ivoire.

Une étude détaillée a permis de recenser et caractériser les différents modes de défrichement pratiqués en Côte d'Ivoire (TAMIA, 1994), à partir d'enquêtes appuyées par des observations sur le terrain. Pour ce mémoire, nous nous limiterons simplement aux rappels des modes de défrichement, pratiqués dans le Sud forestier où se déroulent nos travaux. Ces modes de défrichement constituent les pratiques qui ont inspiré les essais établis sur le sites IBSRAM de Bécédi.

Les résultats, obtenus sur une campagne agricole (1993-1994), (tableau I. 1. 1), révèlent un nombre prédominant de défrichements traditionnels par rapport aux défrichements mécanisés. Les deux types de défrichement (traditionnel et mécanisé) comportent des variantes qui sont fonction des conditions du milieu, des habitudes culturelles et des cultures à mettre en place.

N°	Région	Zone	Végétation	Topographie	Culture prévue	Surface culturée	Type de sol	Méthode du défrichement	Outils	Motocultif	Couleur du sol	Type de défrichement
1	Sud	Forêt	Jachère > 15 ans	Sommet convexe	Mais Arachide	< 1 ha	Limono- Argileux	- Défrichement du sous bois - Abattage des arbres gênants - Brûle	Machette Hache	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
2	Sud	Forêt	Jachère < 5 ans	Haut de versant	Mais	< 1 ha	Limoneux	- Défrichement du sous bois - Pas d'arbre - Brûle	Machette	Peu Quelques termitières Fosses (terriers)	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
3	Sud	Forêt	Jachère < 5 ans	Tout le versant	Mais Igname	2 à 3 ha	Limoneux gravillon- naire	- Défrichement du sous bois - Pas d'arbre - Brûle	Machette	Peu Quelques termitières Fosses (terriers)	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
4	Sud	Forêt	Jachère 10 à 15 ans	Haut de versant	Mais	< 1 ha	Limoneux gravillon- naire	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Brûle - Découpage, - Dégagement à la main	Machette Hache	Peu Quelques termitières Fosses (terriers)	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
5	Sud	Forêt	Jachère 5 à 10 ans	Haut de versant	Mais	< 1 ha	Limoneux	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Brûle - Découpage, - Dégagement à la main	Machette Hache	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
6	Sud - Ouest	Forêt	Forêt Vierge	Tout le versant	Palmier à huile	5 ha	Sable - Argileux	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Découpage de branches - Séchage - Brûle - Découpage des troncs d'arbre - Dégagement à la main	Machette Tronçon- neuse	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
7	Sud - Est	Forêt	Jachère 10 ans	Haut de versant	Igname	1 ha	Limoneux	- Défrichement du sous bois - Abattage de quelques arbres - Séchage - Brûle - Feu au pied des arbres restés sur place	Machette Hache	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
8	Sud - Est	Forêt	Jachère 10 ans	Bas de versant	Mais Arachide	1 ha	Limoneux	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Séchage, brûle - Découpage, dégagement à la main	Machette Hache	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
9	Sud - Est	Forêt	Jachère > 15 ans	Tout le versant	Palmier à huile	2 ha	Limoneux	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Brûle - Découpage, - Dégagement à la main	Machette Hache	Peu Quelques termitières Terriers	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
10	Sud	Forêt	Forêt secondaire	Haut de versant	Riz	< 1 ha	Grevillon- naire	- Essartage du sous bois - abattage de tous les arbres - Séchage, brûle - Les tronc d'arbre restent sur place	Machette Hache	Peu Quelques termitières	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
11	Sud - Est	Forêt	Forêt vierge	Tout le versant	Palmier à huile	5 ha	Sable - Argileux	- Défrichement du sous bois - Abattage de tous les arbres - Découpage de branches - Séchage - Brûle - Découpage des troncs d'arbre - Dégagement à la main	Machette Tronçon- neuse	Peu Quelques termitières Terrière	Avant brûle, brun sombre Après brûle brun sombre + cendre	Traditionnel
12	Sud	Forêt	Forêt secondaire	Haut de versant	Mais Arachide	100 ha	Sable - Argileux Grevillon- naire	- Essartage manuel du sous bois - Abattage de tous les arbres - Découpage des branches et troncs d'arbre - séchage, brûle - Andainage selon les courbes de niveau	Machette Tronçon- neuse Bulldozer	Sillons Trous d'essouchement Traces de chenille	Hétérogène brun sombre brun clair	Semi-motorisé
13	Sud - Ouest	Forêt	Forêt vierge	tout le versant	Palmier à huile	200 ha	Limoneux	- Abattage du sous bois - Abattage de tous les arbres - Séchage, brûle - Découpage des branches et troncs, dégagement et antessement linéaire par intervalle de 7.80 m - essouchement dans les lignes de plantation	- Tracteur à chenille à lame et à épéron - Tronçon- neuse	Sillons Trous d'essouchement Traces de chenille	Très hétérogène brun sombre brun clair	Motorisé
14	Sud	Forêt	Forêt vierge	Tout le versant	Hévéa Colatier	100 ha	Limoneux grevillon- naire	- Abattage du sous bois - Abattage de tous les arbres - Séchage, brûle - Découpage des branches et troncs, fabrication de charbon - Dégagement, andainage	- Tracteur à chenille à lame et à épéron - Tronçon- neuse	Sillons Trous d'essouchement Traces de chenille	Très hétérogène brun sombre brun clair	Motorisé

Tableau I.1.1 : Différents modes de défrichement recensés dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire.

Ils se distinguent également par des impacts différents sur l'évolution du sol, comme on pourra l'indiquer d'après les données bibliographiques.

1. LE DEFRICHEMENT TRADITIONNEL

Le défrichement traditionnel ou manuel se pratique sur l'ensemble du territoire et concerne de petites parcelles n'excédant pas les 5 ha. Tout, ou presque, se fait à la main, au moyen d'outils rudimentaires comme la machette, la houe, la hache, la scie. Dans les situations de grande surface (≤ 5 ha), une tronçonneuse est utilisée pour l'abattage des arbres (Tableau I. 1. 1).

De manière commune, l'usage du feu est toujours associé à l'opération du défrichement. Dans cette zone de forêt dense, le degré de brûlage de la végétation constitue un facteur important, tant pour la fertilité du sol que pour le volume des travaux à effectuer, par la suite, sur les parcelles. Le feu est donc utilisé à bon escient, et apparaît indissociable des opérations de défrichement traditionnel.

Pour ce qui est de la fertilité, la végétation forestière, comme nous l'avons déjà souligné dans notre introduction, est le réservoir potentiel d'éléments fertilisants du sol. Par le brûlage donc, les nutriments emmagasinés dans la végétation retournent au sol par les cendres (MOREAU et GODEFROY, 1985 ; DUPUY, 1995) ; une chose dont les agriculteurs sont conscients (communication personnelle).

Quant au volume de travail à effectuer par la suite, le brûlage est d'une aide considérable non seulement dans le nettoyage de la masse importante des décombres issus du défrichement, mais aussi de l'entretien du champ, pendant le cycle cultural, contre les mauvaises herbes et les adventices (DE ROUW, 1991). Pour ces raisons, le défrichement a toujours lieu pendant la grande saison sèche, pour permettre un bon séchage de l'abattis ; pendant les mois de décembre et de janvier, voire février pour les retardataires. D'une manière générale, le brûlage de l'abattis a lieu au moins quelques semaines après l'essartage.

Le défrichement comporte l'essartage du sous bois, l'abattage des arbres et le brûlis. L'abattage des arbres est soit partiel, soit total selon les cas ; ce qui définit deux variantes distinctes.

1. 1. Défrichement avec abattage partiel des arbres

Cette variante est pratiquée surtout par les populations autochtones de la zone forestière. C'est le cas des pratiques des Oubis de la région de Taï (MOREAU et NAMUR, 1978). Après l'essartage, soit tous les arbustes et arbres de petit diamètre sont abattus et seuls quelques gros arbres restent sur pied, soit de nombreux arbres et arbustes restent sur place et seul les arbres

gênants sont abattus. Le brûlage général est suivi, selon les besoins, de l'accumulation de branchages résiduels et de leur mise à feu au pied des arbres non abattus pour les faire mourir. Parfois, de gros arbres restent pourvus de leurs feuilles. Ils créent ainsi de l'ombrage bénéfique aux jeunes plants de certaines cultures ombrophiles (les jeunes cacaoyers par exemple).

1. 2. Défrichage avec abattage de la totalité des arbres

Cette variante est caractéristique des habitudes culturelles des populations allogènes dans le cadres des cultures vivrières. Elle est également pratiquée pour la mise en places de certaines cultures de rente comme le palmier à huile (Tableau I. 1. 1).

Après l'essartage du sous-bois et l'abattage des arbres, l'ensemble est séché puis brûlé. Les gros troncs d'arbre découpés sont, soit dégagés hors du champ, soit entassés en bandes régulières d'environ 8 m d'intervalle pour des parcelles destinées à la culture du palmier à huile. Dans le cadre des cultures vivrières, les troncs d'arbre sont en général abandonnés sur la parcelle sans aménagement particulier. Ils sont parfois utilisés pour la fabrication de charbon de bois ou utilisés en bois de chauffe. Ceci permet de rentabiliser davantage la parcelle.

Lorsque la parcelle ne comporte pas d'arbre à abattre, cas des jachères jeunes d'âge inférieur à cinq ans, le feu intervient après l'essartage et le séchage du recru forestier et des herbacées qui, en général, brûlent sans laisser de débris encombrants.

1. 3. Incidences du défrichage traditionnel

Les effets immédiats visibles après le défrichage traditionnel sur la végétation et sur les paramètres du sol sont d'ordres divers et de degré variable selon la variante du défrichage et l'intensité du brûlage. Selon leur ampleur, ces effets conditionneront l'évolution future des paramètres du sol et la recolonisation forestière après abandon de la parcelle.

Sur la végétation

Le défrichage traditionnel entraîne, en général, une élimination partielle du couvert végétal. Les souches des arbres abattus restent sur place, ainsi que quelques arbres, lorsqu'il s'agit d'un défrichage à abattage partiel. La présence des vestiges du couvert végétal sous forme de rejets, de graines et de quelques arbres vivants, qui pour la plupart, se conservent longtemps, facilitent le repeuplement ligneux pendant la période de jachère (DE ROUW, 1991, 1994 ; VAN REULER et JANSSEN, 1993).

Sur le sol

- *Les caractéristiques morphologiques*

Le défrichement traditionnel entraîne peu de modifications morphologiques au niveau du sol. Les microreliefs perceptibles ne sont que ceux hérités du milieu naturel (termitières, terriers, turricules de vers de terre) et les souches d'arbre. Cependant, l'action du feu, qui varie en fonction de la répartition de la biomasse végétale abattue sur la parcelle, et de son degré de séchage, constitue un facteur d'hétérogénéité à la surface du sol. Trois types de zones (non brûlées, légèrement brûlées, bien brûlées), sont observées, en général, selon l'intensité du brûlis (TAMIA, 1994).

Au niveau des *zones non brûlées*, la surface du sol possède les mêmes caractéristiques que sous végétation naturelle. Elle reste entièrement couverte de litière, de feuilles mortes et de branchages issus du défrichement, ainsi que des traces de la mésafaune, encore active, marquée par la présence de nombreux turricules frais de vers de terre et de galeries de fourmis et de termites.

Les *zones légèrement brûlées* présentent une surface régulièrement couverte de cendre, de charbon et de débris végétaux partiellement calcinés. La trace du feu en profondeur n'excède pas 1 cm. La litière reste présente par endroits et les racines très abondantes dans l'horizon superficiel du sol ne sont pas détruites par le feu. Cependant, l'absence de turricules de terre fraîche montre que la faune du sol n'est plus en activité. Ces zones sont les plus dominantes après le brûlage pour toutes les situations observées.

Les *zones bien brûlées*, quant à elles, se caractérisent par l'abondance de cendre sur toute la surface du sol. Ce sont en général, des zones à accumulation importante de végétaux issus du défrichement. La litière est entièrement consumée et le sol affecté par le feu jusqu'à environ 5 à 10 cm de profondeur par endroits (zones d'accumulation de la biomasse issue de l'abattage de la végétation).

- *Les caractéristiques physiques du sol*

Les modifications des caractéristiques physiques et chimiques dues à l'intervention du feu doivent être fonction de la variabilité spatiale issue du brûlis. Mais nous ne nous étendrons pas sur les microvariabilités. Seuls les caractères dominants sont ici exposés.

Au niveau des effets immédiats du feu sur les *caractéristiques physiques*, PURI et ASGAR (1940), Le BORGNE et MONNIER (1959), BETREMIEUX et *al.* (1960) et NZILA (1992), ont signalé l'existence de phénomènes de peptisation de l'argile, favorisant l'augmentation du taux d'agrégats

stables à l'eau, sous l'effet des élévations importantes de température ($> 300^{\circ}\text{C}$) lors du brûlage. Selon MOORE (1960), URIBE *et al.* (1967), CLINNICK et WILLAT (1981), ces phénomènes de transformation des agrégats en pseudo-sables améliorent également l'infiltration, la perméabilité et réduisent le ruissellement de surface et donc l'érosion. Ces cas de figure, s'ils ont lieu pendant le brûlage, doivent n'être que très superficiels et de faible intensité. En effet, les travaux de Van REULER et JANSSEN (1993) ont montré à Taï (sud-ouest de la Côte d'Ivoire) que les élévations de température pendant le brûlage peuvent atteindre plus de 500°C à la surface du sol et rarement 260°C et 150°C respectivement à 0,5 cm et 1,5 cm de profondeur. Toutefois, BANO et KRAMMES (1966), de BANO *et al.* (1966, 1970, 1976, 1977), GIOVANNINI et LUCCHESI (1984) et GIOVANNINI *et al.* (1987) ont attribué l'amélioration de ces propriétés physiques (Stabilité des agrégats, infiltration, perméabilité) du sol à la destruction des substances organiques hydrophobes recouvrant les éléments minéraux du sol par le feu. Ceci serait aussi un facteur de dégradation de la structure du sol par le contact de l'eau, la mouillabilité étant plus accrue par la destruction des substances organiques, protégeant les agrégats des effets du contact de l'eau (HENIN, 1969).

Quelles que soient les prévisions des uns ou des autres, la réalité est que la rupture de l'équilibre de l'écosystème forestier par le défrichement va entraîner une évolution du sol vers une tendance à la dégradation (COLLINET *et al.*, 1984), d'où la nécessité d'élaborer des techniques de gestion permettant de conserver les qualités physiques du sol pendant son exploitation.

- Les caractéristiques chimiques du sol

D'une manière générale, la littérature révèle un effet positif du brûlage sur le potentiel de fertilité chimique du sol (SEUBERT *et al.*, 1977 ; BOYER, 1978 ; ORIOLI et CURVETTO, 1978 ; YORO 1990 ; TAMIA, 1994). L'apport en éléments minéraux par les cendres entraîne une augmentation des teneurs en bases échangeables, en phosphore assimilable, l'élévation du pH parfois jusqu'à des valeurs proches de la neutralité pour ces sols acides, et une baisse du taux de saturation en aluminium échangeable (NYE et GREENLAND, 1964 ; FASSBENDER, 1975 ; ELLIS et GRALEY, 1983 ; STROMGAARD, 1984 ; COLLINET *et al.*, 1984 ; KYUMA *et al.*, 1985 ; MOREAU, 1986, 1993). Pour ce qui est de l'évolution de la matière organique, les avis divergent. Certains auteurs ont estimé une augmentation des teneurs en carbone total, dans les couches superficielles (0-5 cm) après le brûlis (DAUMERGUE, 1968 et WELLS, 1971 cité par NZILA, 1992). D'autres, au contraire, ont constaté une baisse par rapport à la teneur initiale (MOREAU, 1986 ; YORO, 1990). Dans tous les cas, les variations de teneur en carbone, estimées immédiatement après le brûlage, sont faibles. L'azote total suit la même tendance que celle du carbone.

SMITH (1970) indique qu'au-delà de l'effet positif immédiat sur les éléments de fertilité du sol, le brûlis contribue à la perte rapide du potentiel fertilisant du sol par l'augmentation de la solubilité des minéraux. Ces éléments minéraux solubles contenus dans les cendres sont vite lessivés et entraînés par les eaux de ruissellement. Cette perte se manifeste, au bout d'un temps (3 à 4 ans) assez court, par la baisse de la capacité d'échange de l'horizon humifère (NISHITA et HAUG, 1972), à laquelle s'ajoute la baisse du taux de matière organique par minéralisation. Malgré ces risques de fortes pertes en nutriments, dans les systèmes traditionnels de cultures, en général sans intrant, le brûlis est nécessaire compte tenu du très faible niveau de fertilité naturelle de ces sols sous forêt (MOREAU et NAMUR, 1978, MOREAU, 1984). Aussi, De Rouw (1991) a constaté, à Taï, de plus faibles rendements de riz sur des surfaces peu affectées par le feu. Des constats de même ordre ont été effectués dans la région de Bécédi sur des parcelles paysannes (TAMIA, 1994), où la variabilité spatiale, induite par le feu, a entraîné des développements inégaux des plants de riz.

- Sur la microflore et la mésofaune du sol

Les organismes vivants sont sensibles, d'une manière générale, aux variations des conditions du milieu, comme la température, les éléments nutritifs et l'humidité (AHLGREN et AHLGREN, 1965). Les élévations de température pendant le brûlage entraînent une destruction massive de la faune et de la microflore vivant dans la partie superficielle du sol. C'est le cas des vers de terre et des termites vivant à de faibles profondeurs ainsi que de nombreux autres invertébrés et microflores (DEKA et MISHRA, 1983). La destruction des organismes vivants se traduit par la chute de l'activité biologique générale (GNAMBA, 1987) et de l'activité phosphatase (MOREAU, 1983) dans les 0 - 20 cm du sol suite à l'action du feu. Aussi, par rupture des conditions écologiques initiales du milieu, le repeuplement qui peut être très rapide, pour certaines espèces, est tout de même modifié (MILLER et *al.*, 1955 ; AHLGREN, 1974). Il s'installe, dans la plupart des cas, des espèces différentes de celles sous végétation naturelle (BODOT, 1967 ; BACHELIER, 1973 ; COLLINET et *al.*, 1984 ; LAVELLE et *al.*, 1992 ; GILOT, 1995).

2. DEFRICHMENT MOTORISE

Il est souvent réservé aux exploitations industrielles d'Etat (projet soja, hévéa culture, palmier à huile...). Il est aussi pratiqué par des particuliers possédant de grandes terres et des moyens financiers pour les mettre en valeur dans le cadre de cultures de rente. Il concerne de grandes surfaces de l'ordre de 100 à 200 hectares et même plus (Tableau I. 1. 1) Trois variantes ont été identifiées en fonction de l'itinéraire technique et de l'équipement mécanique et du type de culture.

2. 1. Défrichage avec une seule machine

C'est la technique ancienne où l'unique machine fait d'emblée tout le travail. C'est le type le plus courant en Côte d'Ivoire et ailleurs dans le monde (SEUBERT et *al.*, 1977). L'engin est un bulldozer muni d'une lame à débroussailler, d'un râteau et d'un éperon d'abattage. Le sous bois est éliminé à l'aide de la lame défricheuse et tous les arbres sont abattus et essouchés par le râteau et l'éperon. Cette technique est rentable quant à la rapidité, à la tâche et au coût de l'opération.

2. 2. Défrichage par traînage de chaîne

Dans cette méthode, on utilise deux tracteurs à chenilles munis d'une lame ou d'un râteau frontal. Ils sont reliés par une chaîne lourde d'au moins 500 kg (chaîne d'encre) et longue de 90 m environ. La totalité de la végétation est abattue à la chaîne entre les deux tracteurs tireurs. Ce type de défrichage à la chaîne est conçu pour les exploitations de grande surface et trouve son efficacité sur des terrains de type savanicole. En végétation dense ou en forêt, il faut ajouter souvent une troisième machine pour l'abattage des arbres. Ce qui entraîne non seulement une majoration au coût du travail, mais aussi un impact plus important sur le sol à cause des mouvements accrus des nombreuses machines intervenant.

2. 3. Défrichage par étapes successives

Il est conçu pour réduire au mieux les perturbations du sol. Le travail s'effectue en deux, voire en trois temps. Un tracteur équipé d'une lame défricheuse abat le sous bois et les arbres de petit diamètre. Un deuxième muni d'un éperon d'abattage renverse les gros arbres. Ceux de diamètre supérieur à 1 m sont abattus à la tronçonneuse. Le brûlis qui lui est toujours associé, intervient après le séchage.

2. 4. Défrichage semi-motorisé

C'est un défrichage à la fois manuel et motorisé. Le sous bois est éliminé au moyen d'un coupe-coupe. Le reste se passe comme dans un défrichage motorisé normal. Après l'essartage manuel, il intervient un bulldozer pour abattre et déraciner tous les arbres. Les troncs et branches sont découpés à la tronçonneuse, séchés et brûlés. Cette technique permet également de réduire les perturbations du sol, l'effort de grattage du sous bois étant éliminé des mouvements de la machine. Aussi, la biomasse végétale qui jonche la surface du sol, à l'issue de l'essartage préalable du sous bois, amortit quelque peu l'impact du bulldozer sur le sol pendant l'abattage des arbres.

Ces défrichements ont souvent lieu pendant les périodes sèches, mais il arrive que pour de grands chantiers de plusieurs centaines d'hectares, ces opérations s'étalent jusqu'en saison des

pluies, étant donné que dans la plupart des cas les conséquences des bouleversements sur le sol sont ignorées.

Quelle que soit la variante, l'abattage est suivi d'importants travaux d'aménagement de la parcelle qui varient en fonction du coût du travail et des cultures à mettre en place.

L'abattage est soit directement suivi de l'andainage, soit suivi d'abord de l'entassement, du séchage et du brûlage. L'usage du feu réduit ainsi la quantité de travail que représente le déblayage des décombres. Les bois ayant résisté au feu et les racines extirpées par sous-solage sont soit dégagés hors du bloc défriché, soit andainés de manière linéaire ou selon les courbes de niveau. L'andainage est effectué à l'aide de tracteurs à chaîne équipés d'une lame râteau.

Pour réduire l'érosion, des banquettes d'absorption ou d'évacuation sont confectionnées selon les courbes de niveau. Leurs intervalles dépendent de la pente et peuvent varier de 20 à 40 m.

Pour l'implantation de certaines cultures, comme le palmier à huile, l'essouchement des arbres n'est pas systématique. Il n'a lieu que dans les lignes de plantation et de circulation prévue pour l'entretien futur du champ. L'andainage également est parfois remplacé par une variante où les troncs et branches sont découpés, dégagés au bulldozer et entassés de façon linéaire par intervalle de 7,80 m environ.

2. 5. Incidences des défrichements motorisé et semi-motorisé

L'impact du défrichement mécanisé sur le sol et la végétation est très important par rapport à celui du défrichement traditionnel.

Sur la végétation

Quelle que soit la variante, ces défrichements engendrent une suppression quasi totale de la végétation, jusqu'aux racines. Les vestiges du couvert végétal ne se retrouvent que dans les andins. Cette élimination totale favorise le repeuplement par les herbacées, au détriment des ligneux, et par conséquent, la déforestation (MITJA et VALENTIN, 1989).

Sur le sol

La *partie supérieure du sol* (0 à 15 cm, parfois 30 cm) se trouve *fortement modifiée* (ALEGRE et al., 1986). L'horizon humifère est décapé par endroits et recouvert de terre des zones de profondeur. Il est parfois tassé (traces de chenille) et lissé par la lame du bulldozer. La partie supérieure du sol est souvent compactée par endroits par les engins dans leurs mouvements. La

parcelle ainsi défrichée laisse souvent apparaître de nombreux microreliefs et crevasses formant ainsi divers volumes pédologiques de caractéristiques physiques (couleur, structure, texture, cohésion, stabilité structurale, résistance à la pénétration) différentes (YORO, 1984 ; BOKA, 1986 ; GNAMBA 1987). Cependant, les variantes de défrichement par étapes successives ou le défrichement semi-mécanisé permettent de réduire ces différents effets dus à l'action des machines. Mais dans tous les cas, il en résulte une hétérogénéité spatiale qui va conditionner l'évolution des propriétés du sol (MOREAU, 1984). Ainsi, le tassement peut conduire à l'existence d'horizons durcis dans le sol, qui constituent, parfois, un obstacle à la pénétration des racines (VEIHMEYER et HENDRICKSON, 1948 ; ALEGRE et *al.*, 1986 ; YORO et ASSA, 1986 ; CALIMAN, 1990, 1995). En outre, le sol nu est soumis à un ruissellement important et à une érosion certaine (YORO, 1979 ; COLLINET, 1984). Lorsqu'il y a décapage de l'horizon humifère ou recouvrement par des éléments fins, issus des horizons de profondeur et de structure peu stable, la surface du sol devient plus susceptible à l'érosion (MOREAU, 1978). L'entraînement des particules fines par les eaux de ruissellement conduit aussi à la concentration des éléments grossiers à la surface du sol. Quoique jugés par BENOIT et KIRKAM (1963), BOA (1989), ASSA et BOA (1990) comme bénéfiques pour les propriétés hydrodynamiques du sol (maintien de l'humidité du sol, réduction du ruissellement, amélioration de l'infiltration), les éléments grossiers peuvent constituer un obstacle à la pénétration des racines des plantes cultivées (Développement Ressources Corporations, rapport anonyme, 1967).

L'hétérogénéité morphologique spatiale est souvent source de *variabilité* des caractéristiques *chimiques*. BLIC (1972, 1976) ; SEUBERT et *al.* (1977) ; MATONDO et *al.*, (1982) signalent un déclin des éléments de fertilité comme les bases échangeables, l'azote, le pH et un accroissement de la saturation en aluminium dus aux remontées de terre de profondeur souvent pauvres en matière organique et de leur mélange avec les horizons superficiels. Cependant, la pratique du brûlis qui est souvent associée au défrichement mécanisé peut permettre de réduire cette tendance à la dégradation chimique du sol.

La *microflore* et la *faune du sol*, sensibles aux variations des conditions du milieu, suit également l'hétérogénéité morphologique et chimique du sol. Une sectorisation dans la répartition des populations des micro-organismes a lieu en fonction des microreliefs. Ce caractère se manifeste par une activité phosphatasique différente selon les volumes pédologiques (GNAMBA, 1987). La tendance générale, comme dans le cas du défrichement traditionnel, est une *diminution des populations* des organismes vivants du sol, se traduisant par la chute de l'activité biologique générale et de l'activité phosphatasique (BLIC, 1976 ; MOREAU, 1983).

*

Le défrichement traditionnel ou manuel constitue la pratique courante et commune à tous les milieux paysans en Côte d'Ivoire forestière, comme partout ailleurs dans les tropiques. Ce type de défrichement concerne souvent de petites surfaces (< 5 ha), compte tenu des difficultés qu'il comporte.

Il comprend deux variantes définies par l'abattage soit partiel, soit total des arbres lorsqu'il en existe. Le choix du mode est fonction du type de culture et des habitudes culturelles des populations. L'aspect général d'une surface défrichée est fonction du type de culture à mettre en place. Ainsi, pour la culture de l'igname par exemple, la majorité des arbustes et arbres reste toujours sur place, sauf dans le cas d'une jachère ne comportant pas d'arbres. Par contre pour la culture du riz, les arbres sont le plus souvent éliminés, surtout sur les abattis des populations allogènes. Les autochtones des zones forestières pratiquent toujours la variante à abattage partiel quelle que soit la culture prévue.

Le brûlage est à la fois utilisé comme moyen de nettoyage et de fertilisation. L'amélioration de la fertilité minérale du sol par l'élévation du pH, la diminution du risque de toxicité aluminique et l'augmentation des teneurs en bases échangeables, garantit une bonne rentabilité des cultures pratiquées sur une courte période (2 à 3 ans).

Contrairement aux défrichements traditionnels, les **défrichements motorisés** sont peu fréquents, mais ils revêtent une grande importance eu égard aux vastes superficies, parfois supérieures à 200 ha, mises en jeu lorsqu'ils sont exécutés.

Grâce à l'utilisation des machines, le problème de **main d'oeuvre** est résolu et les difficultés à la tâche sont amoindries, mais les perturbations mécaniques sont inévitables. Les équipements des machines et la manière dont se déroulent les travaux sont fonction du type de végétation et, dans une certaine mesure, du type de culture, mais rarement du souci de conservation des sols. L'usage du feu, à certaines occasions, est également effectif à des fins surtout de nettoyage et rarement de fertilisation. Bien souvent, le souci du gain à la fois en temps de travail et au coût de l'opération amène les investisseurs à choisir les méthodes de défrichement les plus rapides et qui sont aussi les plus dégradantes vis-à-vis du sol, particulièrement de son état physique. Pour ce faire, les

défrichements avec un seul bulldozer lourd, qui fait d'emblée toutes les opérations, ou le défrichement à la chaîne entre deux tracteurs tireurs, sont les plus couramment pratiqués.

Il est souvent ignoré que l'état de la structure du sol constitue l'un des plus importants facteurs de la rentabilité de l'exploitation à venir de la parcelle et donc un patrimoine à gérer convenablement, dès le départ, au moment du défrichement. En effet, la fertilisation seule ou la conjonction de variétés de cultures permanentes et des mesures de contrôle contre les pestes ne peuvent préserver la productivité, s'il existe une détérioration importante des caractères physiques du sol (LAL, 1979). Cette réalité a été également prouvée dans les travaux de CALIMAN et *al.* (1987), CALIMAN (1990 et 1995) ainsi que dans ceux de HARTMAN (1991).

Quoiqu'il en soit, de l'état satisfaisant du champ après le défrichement traditionnel avec brûlis, ou de l'état chaotique faisant suite au défrichement mécanisé, l'écosystème forestier subit de profondes modifications, qui seront à l'origine d'une évolution différente des paramètres morphologiques, physiques, chimiques et biologiques du sol par rapport à l'évolution sous végétation naturelle. Mais, de façon générale, il a été montré que le sol est plus susceptible à la dégradation après un défrichement mécanisé qu'un défrichement traditionnel. Cependant, les pratiques culturales qui font suite à ces défrichements constituent aussi des facteurs déterminants sur l'évolution du statut du sol sous culture et sur la durabilité de son niveau de fertilité.

On voit bien, au terme de cette revue des différents modes de défrichement et de leurs incidences, que les situations sont très diverses, que ce soit du fait de l'état initial des zones à défricher, de la finalité des défrichements, ou de la nature et de l'importance des moyens mis en oeuvre. Il ne peut donc pas y avoir de solution unique pour la bonne gestion des surfaces défrichées.

Il est nécessaire, pour définir des pratiques de gestion adaptée à la spécificité des cas considérés, de mieux cerner les transformations induites au niveau du sol par les opérations de mise en culture, avec leurs causes et leurs conséquences. Ces connaissances de bases doivent être systématiquement recherchées, en particulier dans le domaine des transformations physiques, dont l'importance est souvent sous-estimée, avec l'étude de situations de mise en culture bien définies, sous conditions contrôlées. C'est ce qu'on s'est proposé de faire sur le site IBSRAM de Bécédi, où un dispositif d'étude suivie permet de comparer l'évolution du sol et du rendement des cultures en fonction de différents types de défrichement et de travail du sol, depuis 1991.

CHAPITRE 2

LA REGION DE SIKENSI ET L'IMPLANTATION DU SITE IBSRAM DE BECEDI

LA REGION DE SIKENSI ET L'IMPLANTATION DU SITE IBSRAM DE BECEDI

1. LE CONTEXTE LOCAL

Ce chapitre est consacré à la présentation de la situation générale de la région de Sikensi où a été implanté le site IBSRAM de Bécédi.

La région de Sikensi a déjà fait l'objet d'une caractérisation détaillée avant l'installation du site, tant pour les composantes du milieu physique que pour les activités agricoles (GODO et *al.* 1989). Nous en résumons ici les principaux éléments nécessaires à la clarté de ce travail

1. 1. LES CARACTERES DU MILIEU PHYSIQUE

1. 1. 1. Situation géographique

Le site d'étude retenu pour le projet IBSRAM (GODO et *al.*, 1989) est situé en zone forestière, dans la région de Sikensi, à 90 Km d'Abidjan et à 8 km au Sud-ouest de Bécédi (Figure I. 2. 1).

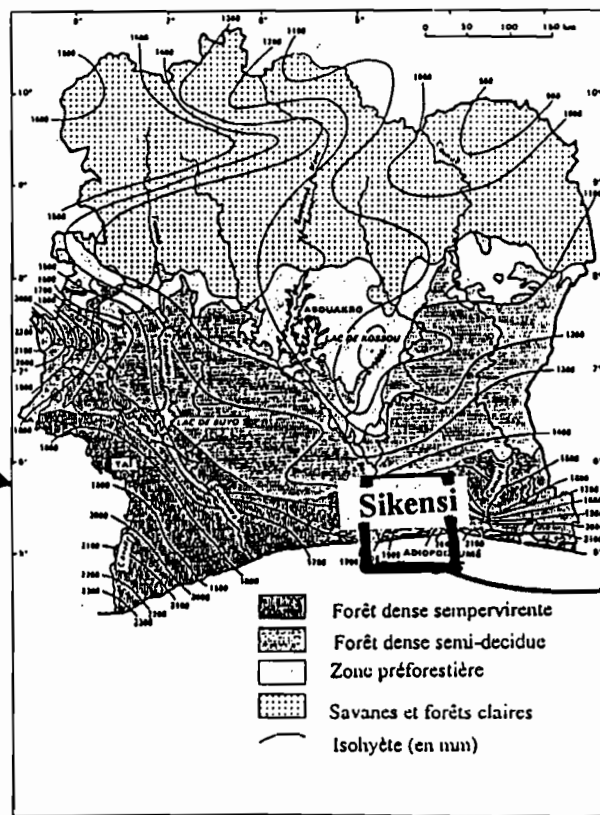
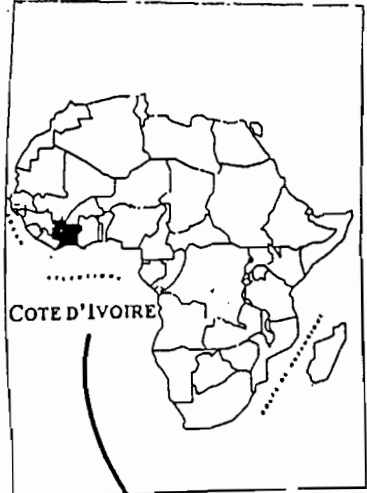
1. 1. 2. Climat

Le climat de la région appartient au type équatorial attién intérieur (BOISSEZON, 1967). Cette zone bénéficie de deux saisons de pluie qui alternent avec deux saisons sèches. Les saisons de pluie s'étendent d'Avril à Juillet, puis de Septembre à Novembre. Les saisons sèches sont réparties sur la période de Décembre à Mars, puis sur celle du mois d'Août (Figure I. 2. 2).

La pluviométrie moyenne annuelle oscille autour de 1600 mm de pluie.

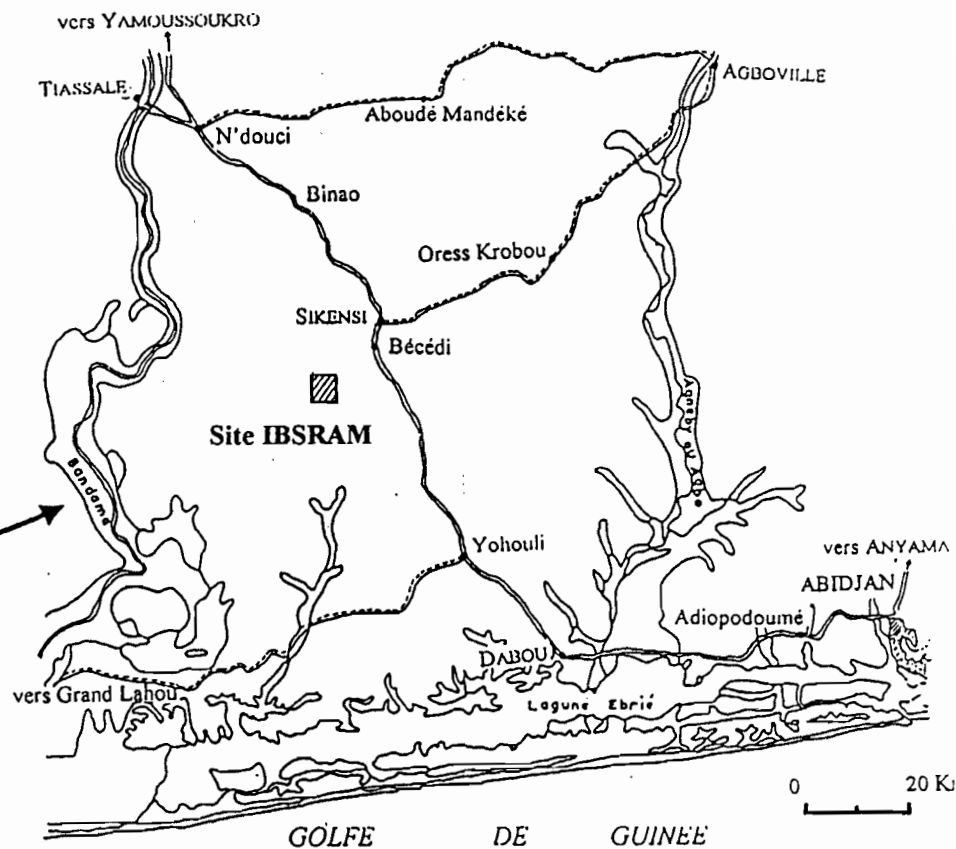
La variation de température moyenne annuelle est faible (de 24 à 27°C). Il en est de même pour l'amplitude thermique mensuelle : 7°C en saison sèche et 5°C en saison humide (DELOR et *al.*, 1992). L'hygrométrie reste constamment élevée.

Les relevés pluviométriques effectués sur le site IBSRAM à Bécédi de 1989 à 1994 concordent avec la moyenne annuelle (1600 mm de pluie) de la région (YORO et *al.*, 1995). Cependant, les précipitations de 1989, 1990 et de 1993, largement en dessous de la moyenne (Figure I. 2. 2), montrent que la région a connu une variation de précipitations ces dernières années. Néanmoins, les moyennes mensuelles (Figure I. 2. 2) traduisent bien l'existence de deux saisons de pluies (GODO et *al.*, 1989) qui



Côte d'Ivoire. Pluviométrie et zones écologiques

Source : d'après Atlas de Côte d'Ivoire - Abidjan, Ministère du Plan de Côte d'Ivoire, Institut de Géographie Tropicale, Université d'Abidjan, 1971



Source : d'après Godo et al. (1989)

Figure I.2.1 : Localisation du site d'étude

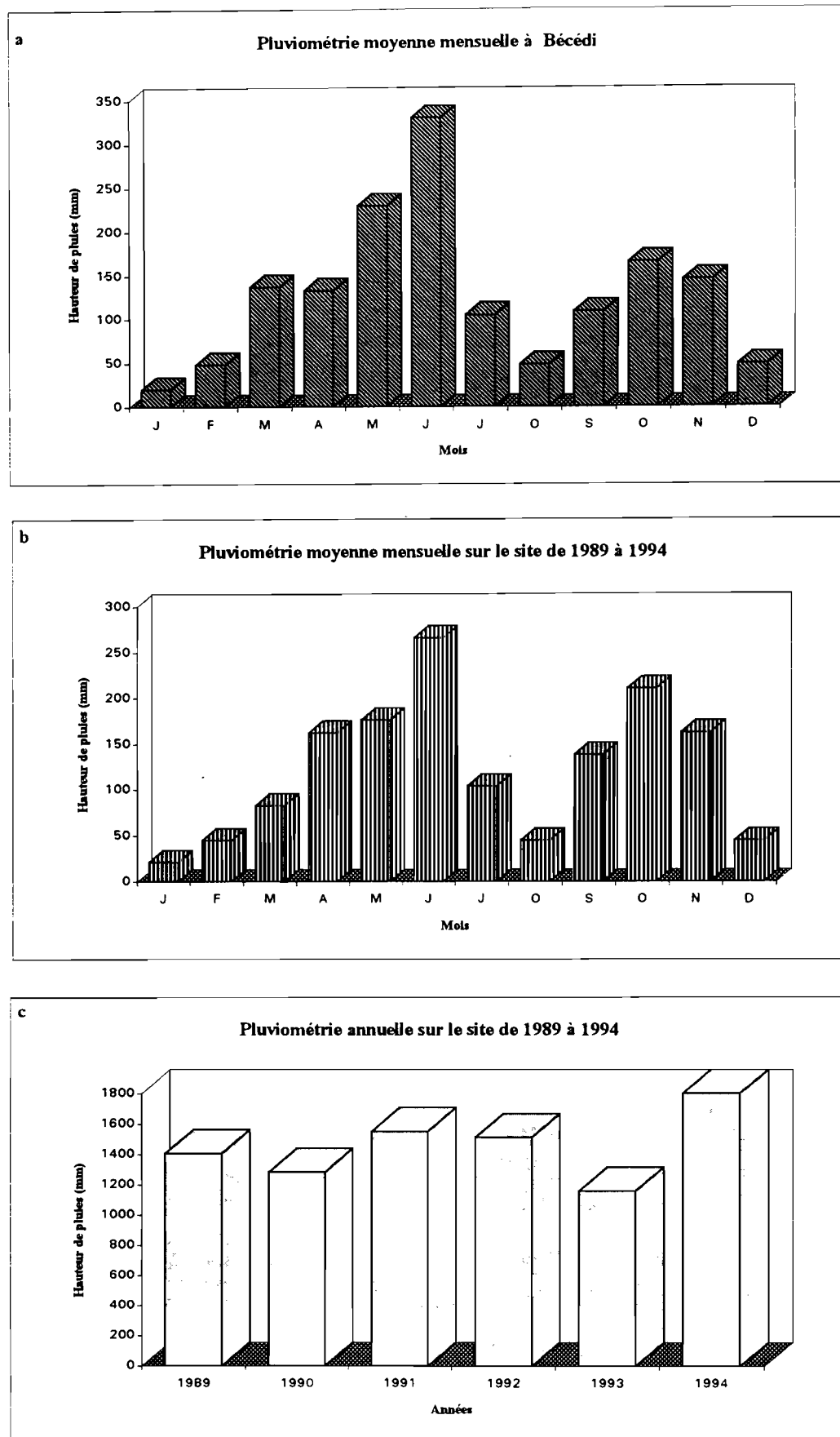
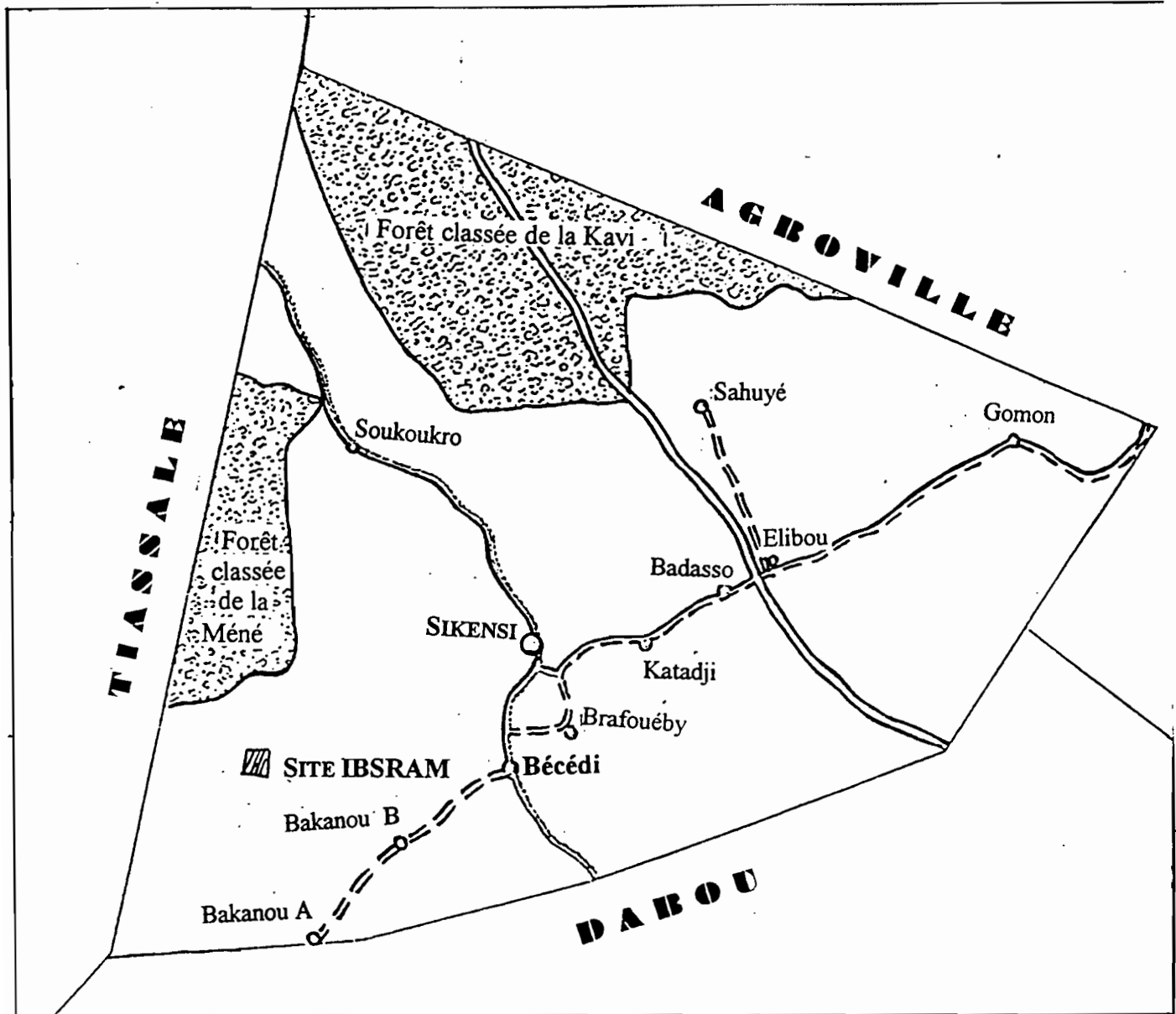


Figure I. 2. 2 : Les caractéristiques pluviométriques de Bécédi et du site



- Limite de Sous - Préfecture
- == Autoroute du Nord
- Route nationale bitumée
- Route secondaire non bitumée
- == Piste carrossable
- Forêt classée

0 5 10 Km

Figure I.2.3 : Limite de la sous-préfecture de Sikensi et localisation du site d'étude

s'étendent d'avril à juillet, pour la grande, et de septembre à novembre pour la petite saison. Ces deux saisons de pluie déterminent le calendrier cultural sur le site.

1. 1. 3. Végétation

La région de Bécédi se situe dans la zone écologique de forêt dense sempervirent du domaine guinéen ombrophile, largement soumise à l'agriculture (Figure I. 2. 1). La végétation qui fut une forêt vierge (MANGENOT, 1955) à *Diopyros mannii*, à *Diospyros spp.* et à *Eresmospatha macrocarpa* (GUILLAUMET ET ADJANOHOUN, 1971) est aujourd'hui dominée, d'une part, par des plantations de cacaoyers, de caféiers, de palmiers à huile et autres cultures de rente ainsi que par des champs de vivriers divers et, d'autre part, par des forêts secondaires à *Musanga cecropioides* (parassolier) ou de peuplements buissonnants à *Chromolaena odorata*, avec trois réserves de forêts classées: la forêt de la Kavi et de la Méné (Figure I. 2. 3).

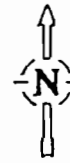
1. 1. 4. Géologie et modelé

Le modelé d'ensemble de la région est peu accidenté et appartient au paysage de croupes gravillonnaires à plans convexes caractéristique du Sud forestier de la Côte d'Ivoire et du modelé d'ensemble rencontré en Afrique de l'Ouest et dominant dans les régions de forêt humides (RUF, 1995). Il comporte de nombreuses petites collines séparées par des vallées souvent sèches. Les versants sont courts et les pentes dépassent rarement 20 %. Les dénivelés entre le thalweg et le sommet oscillent autour de 25 mètres.

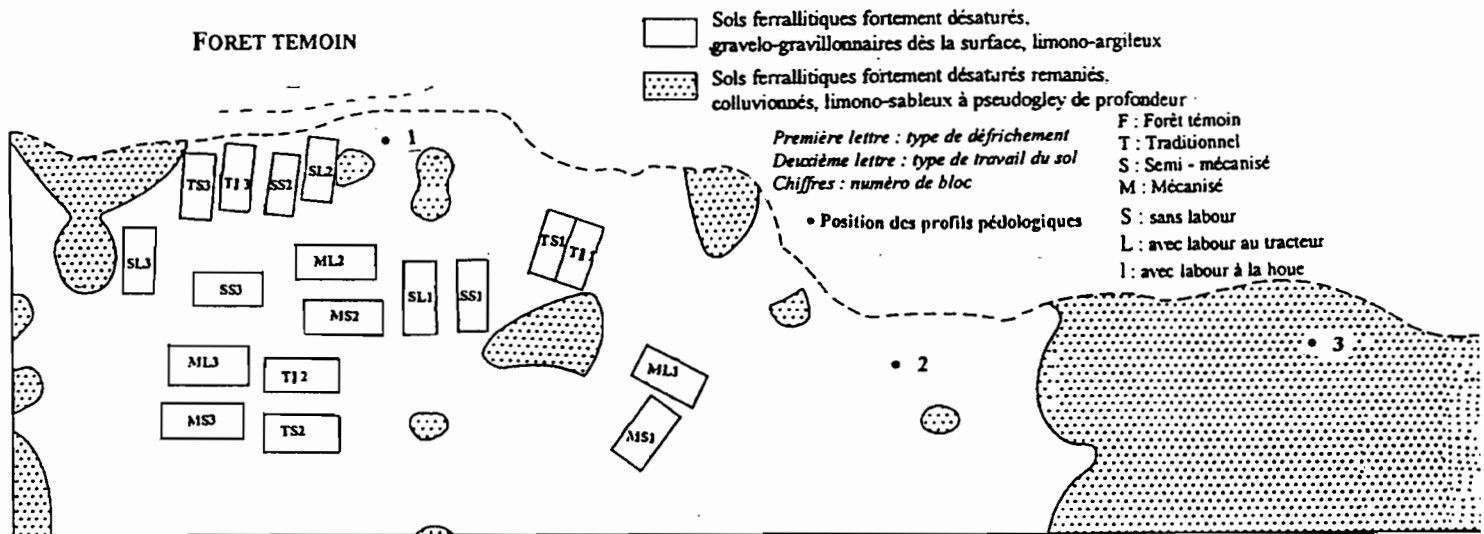
Les formations géologiques de la région sont du Paléoprotérozoïque et appartiennent au cycle de dépôt «Birimien» (DELOR et *al.*, 1992). Communément appelées schistes, ces formations sont en réalité composées de métasédiments peu évolués (Métasiltstones quartzo-feldspathiques). Elles sont traversées par endroit par des massifs intrusifs de granite avec leurs cortèges de filons de quartzites.

1. 1. 5. Sols et unités pédologiques

Les sols sont du domaine des sols ferrallitiques fortement désaturés, avec une fraction fine à dominance de kaolinite (avec des traces d'illite dioctaédrique assez mal cristallisée), de goethite et de quartz. La différenciation pédologique suit celle du modelé d'ensemble de la région. Les sols très graveleux (graviers et cailloux de quartzites et gravillons ferrugineux) à cause de la présence de filons de

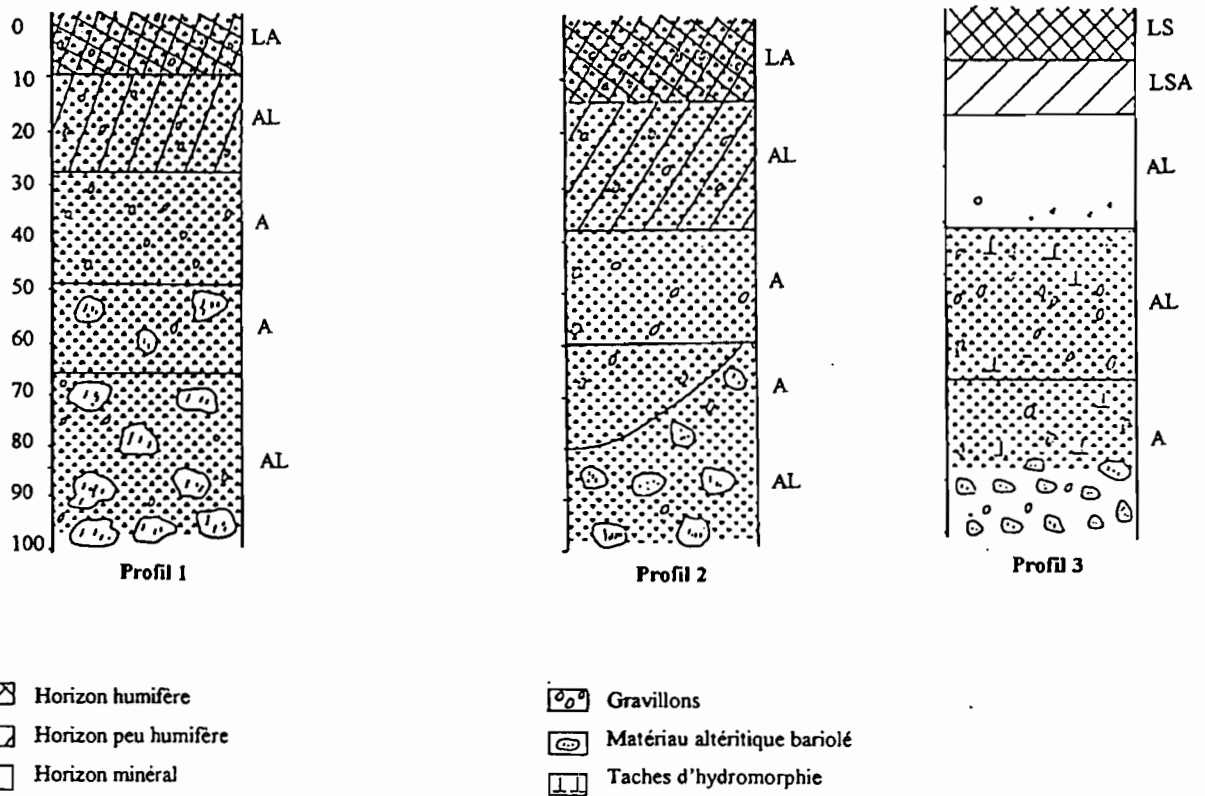


FORET TEMOIN



Source : d'après Godo et al. (1989)

Figure I.2.4 : Carte des unités pédologiques et localisation des parcelles étudiées



Source : d'après Godo et al. (1989)

Figure I.2.5 : Schéma des profils pédologiques en fonction de leur position dans les unités de sol

quartzites dans la roche mère, occupent le sommet des interfluves tandis que ceux à recouvrement fin s'observent dans les dépressions et les bas de versant (BOISSEZON, 1967).

Selon la profondeur d'apparition des éléments grossiers (diamètre >2 mm) et la topographie, deux unités ont été définies (Figure I. 2. 4)

La première unité pédologique, sur laquelle sont situés nos essais, occupe le sommet de l'interfluve : il s'agit de sols ferrallitiques fortement désaturés remaniés modaux. Le sol comporte des éléments grossiers dès 20 cm de profondeur, parfois moins.

La seconde comporte des sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés à recouvrement, hydromorphes en profondeur, avec des éléments grossiers à partir de 40 cm de profondeur.

Ces unités de sol sont couvertes d'une jachère de plus de 15 ans (Forêt secondaire à *Musanga cecropioides*).

1. 1. 5. 1. Les caractères morphologiques des unités de sol

Les profils pédologiques de ces deux unités sont schématisés à la Figure I. 2. 5 et leur description détaillée en annexe 1. Les profils 1 et 2 présentent les mêmes caractéristiques morphologiques. La différence apparaît à partir de 50 cm de profondeur où on note les matériaux bariolés qui sont des reliques de schistes.

Les deux unités pédologiques se distinguent donc, outre la profondeur d'apparition des éléments grossiers, la texture et les taches d'hydromorphie en profondeur, par la profondeur d'apparition des altérites qui, dans tous les cas, reste inférieure à 100 cm.

Dans les deux unités pédologiques, l'enracinement très superficiel est caractéristique des sols ferrallitiques forestiers tropicaux.

1. 1. 5. 2. Caractéristiques analytiques

Seules les caractéristiques analytiques de la première unité pédologique sur laquelle sont localisés les essais étudiés seront exposées ici. Elles concernent d'une part les caractères physiques (densité apparente, résistance à la pénétration, perméabilité) et d'autre part, les caractères physico-chimiques (granulométrie, pH, CEC, bases échangeables et acidités extractibles). Les valeurs des différents paramètres sont inscrites dans les tableaux I. 2. 1 et I. 2. 2. Les mesures ont été effectuées en saison humide (sol saturé d'eau).

Les caractéristiques physiques

La densité apparente qui a été déterminée au sable dans les 20 premiers centimètres du sol est de 1,34.

Les mesures de *pénétrométrie* obtenues au pénétromètre à percussion montrent une augmentation de la résistance à la pénétration (R) avec la profondeur (Tableau I. 2. 1). L'accroissement de R devient brutal et très irrégulier avec l'apparition des éléments grossiers.

La *perméabilité* (Tableau I. 2. 1) diminue de la surface vers la profondeur. L'infiltration, de 8,10 cm/h, est très faible par rapport à celle mesurée sur d'autres types de sols tropicaux (HUMBEL, 1975 ; POSS, 1978 ; YORO, 1984). Le comportement hydrodynamique de cette unité pédologique pourrait être lié à la texture à dominante finement sableuse, favorable au splash, ainsi qu'à la période de mesure de la perméabilité (saison humide).

La *granulométrie* traduit le caractère plus sableux en surface avec près de 60 % en moyenne de sable entre 0 - 40 cm et 50 % entre 40 - 60 cm de profondeur. Le taux de limons diminue également avec la profondeur, passant de 21 % en surface à 17 % en profondeur. Le taux d'argile quant à lui, augmente avec la profondeur. Il passe de 14 % en moyenne en surface (0 - 20 cm) à 21 % entre 20 - 40 cm et à 29 % à 40 - 60 cm de profondeur (Tableau I. 2. 2).

Caractéristiques chimiques (Tableau I. 2. 2)

Le taux de *carbone total* est trois fois plus élevé en surface qu'en profondeur (17 mg/g entre 0 - 20 cm et 6 à 5 mg/g entre 20 - 60 cm), de même que le taux d'*azote total* (1,5 mg/g entre 0 - 20 cm et 0,6 à 0,5 mg/g entre 20 - 60 cm). Le rapport C/N, en moyenne de l'ordre de 11 à 10 dans tous les horizons du profil témoigne d'une bonne minéralisation de la matière organique.

La teneur en *phosphore assimilable* (P_2O_5 , méthode Olsen-Dabin) de l'ordre de 100 à 200 ppm est très faible et se situe à la limite inférieure du seuil critique de carence indiqué par BOYER (1982).

Le *pH (eau et Kcl)* est dans l'ensemble, très acide $pH < 5$, avec une légère croissance de la surface vers la profondeur.

L'*acidité extractible (Al + H)* et l'*aluminium échangeable* augmentent de façon brutale en profondeur. Le risque de toxicité aluminique évalué par l'indice de KAMPRATH (1970) ou le taux de saturation en Al échangeable : $m = [Al/(Al + SBE)] \times 100$, est relativement faible dans les horizons

de surface ($m < 50 \%$). En profondeur, les risques de toxicité s'accroissent à partir de l'horizon 20 - 40 cm où m est égal à 57 % en moyenne. Il est de l'ordre de 70 % dans l'horizon 40 - 60 cm.

La *capacité d'échange des cations (CEC)*, à pH 7, a des valeurs moyennes de 7 méq/100g en surface et de 4 à 3 méq/100g en profondeur (20 - 60 cm). La *somme des bases échangeables (SBE)* suit la même évolution que la CEC. Le faible *taux de saturation (V)* est aussi à mettre en relation avec les faibles valeurs de pH (BAISE, 1988).

Les principales contraintes de la mise en valeur de ce sol sont : la nature et l'abondance des éléments grossiers (en majorité des graviers de quartzites) pouvant accélérer l'usure des outils de travail, et aussi pouvant limiter la réserve en eau du sol ; la faible perméabilité qui favorisera le ruissellement et l'érosion, la forte acidité illustrée par un $pH < 5$ et un taux de saturation en aluminium échangeable appréciable, susceptible d'augmenter rapidement, l'aluminium pouvant de ce fait fortement inhiber la croissance des racines et l'absorption du calcium et du phosphore ; la faible teneur en bases échangeables.

La maîtrise de ces contraintes lors de la mise en valeur de ce sol conditionnera l'atteinte d'un niveau de production optimum.

Tableau I. 2. 1 : Valeurs de résistance à la pénétration et de perméabilité du sol étudié

Pénétrométrie		Perméabilité	
Profondeur (cm)	Résistance à la pénétration (Kg/cm ²)	Hauteur (cm)	vitesse (cm/s)
0	0,0	7	0,0
5	0,9		
10	1,6	6	457,6
15	2,8		
20	5,9	5	940,7
25	5,5	4	1271,2
30	7,6		
35	9,1	3	1627,1
40	8,3	2	2135,6
45	9,0	1	2313,6
50	9,1	0	3000,0

Tableau I. 2. 2 : Granulométrie et propriétés chimiques initiales du sol étudié.

Profondeurs (cm)	Granulométrie (% sol sec)			Carbone et Azote (mg/g de sol)			pH	
	Argile	Limons	Sables	C	N	C/N	Eau	Kcl
0 - 20	14,30	21,86	59,20	16,65	1,46	11,26	4,70	4,00
20 - 40	20,54	18,30	58,00	6,20	0,64	9,58	4,90	4,10
40 - 60	29,15	16,85	49,95	5,45	0,54	10,00	4,90	4,15
Profondeurs (cm)	Complexe d'échange (Cmolc.Kg-1 de sol)							P2O5 as.
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SBE	CEC	Al ³⁺	H ⁺	T. Sat.V (%) (ppm)
0 - 20	1,23	0,62	0,10	1,97	7,14	0,59	0,72	26,44 200
20 - 40	0,49	0,27	0,04	0,82	4,14	1,03	1,14	18,99 100
40 - 60	0,32	0,28	0,08	0,70	3,30	1,48	1,56	21,46 0

1. 2. LES CARACTERISTIQUES AGRICOLES DE LA REGION DE SIKENSI

L'économie de la région de Sikensi est essentiellement basée sur l'agriculture. L'activité agricole s'appuie sur une large gamme de cultures comprenant aussi bien des cultures vivrières que des cultures de rentes pratiquées selon divers systèmes (Tableau I. 2. 3).

Tableau I. 2. 3 : Principaux systèmes de culture à Bécédi (d'après Godo et al., 1989).

<i>Systèmes de culture</i>	<i>1^{ère} année</i>	<i>2^{ème} année</i>	<i>3^{ème} année</i>	<i>Années suivantes</i>	<i>Années suivantes</i>
<i>plantain sans café ni cacao</i>	Igname + Maïs + Plantain + Taro + Légumes	Plantain + Taro	Début de jachère	Jachère	Jachère
<i>plantain avec café/cacao</i>	Igname + Maïs + Plantain + Taro + café/cacao + Légumes	Plantain + café/cacao + Taro + Légumes	café/cacao + Plantain + Taro	café/cacao + Plantain	café/cacao
<i>base de manioc</i>	Maïs + Légumes + Manioc	Manioc ou début de jachère	Manioc ou 2 ^{ème} année de jachère	Jachère	Jachère

1. 2. 1. Les cultures vivrières

La *banane plantain* qui constitue la base de l'alimentation des Abidji (ethnie locale) est cultivée sur défriches forestières traditionnelles. L'essentiel de la production est réservée à la consommation familiale.

Le *manioc* constitue le deuxième aliment de base des Abidji. Il est soit cultivé seul sur jachère de *Chromolaena odorata*, soit en association avec d'autres cultures comme le maïs, ou l'arachide. Du fait qu'il s'accommode facilement des jachères de courte durée et dispose d'une zone d'écoulement assez proche (Abidjan), le manioc est appelé à connaître un développement important dans la région de Sikensi.

L'*igname* se cultive en association avec les autres cultures vivrières, excepté le manioc. Elle est peu consommée, mais possède une valeur sociale. En effet, tous les villages Abidji célèbrent

chaque année la fête des ignames qui est un événement rituel à la récolte de l'igname précoce (courant octobre).

Le *taro* est cultivé en association avec la banane plantain. Il se rencontre aussi fréquemment dans les plantations de cacaoyers et de caféiers où il sert à l'alimentation des manoeuvres et constitue également un aliment de soudure pour les autochtones.

Le *maïs* intervient en début de cycle cultural chez les autochtones et n'occupe qu'une faible part des cultures associées. Chez les allogènes par contre, le maïs constitue une importante culture de rente pratiquée sur de grandes surfaces (> 1 ha).

Les *cultures légumières* les plus pratiquées dans la région sont le piment, l'aubergine, le gombo et la tomate. Elles sont pratiquées en petite quantité et en association avec les autres cultures.

1. 2. 2. Les cultures industrielles

Le *café* et le *cacao* constituent la base de l'économie de la région de Sikensi. Ces deux cultures occupent la majorité des surfaces cultivées et procurent aux paysans l'essentiel de leur revenu monétaire.

Le *colatier* est généralement disséminé dans les parcelles de caféiers. Il assure aux paysans un complément de revenu.

Le *palmier à huile* natif est traditionnellement exploité par les Abidji, pour ses noix et son vin. L'huile extraite des noix de palme est très appréciée des autochtones. L'introduction de variétés améliorées et l'action de la Palmindustrie ont permis la création de quelques plantations villageoises dans la région de Sikensi.

L'*hévéa* est une plante d'introduction récente (1956) et ne représente pas encore un poids économique pour la région (KOUADIO et al, 1995).

Les *divers arbres fruitiers* comme l'oranger, le mandarinier, l'avocatier et les manguiers ont une production abondante à certaines périodes de l'années. Mais l'absence d'un prix garanti et indicatif ne favorise pas l'émergence de plantations villageoises de fruitiers. Seuls quelques pieds de ces plantes sont disséminés dans les caféières et les cacaoyères.

1. 2. 3. Critères de choix des parcelles pour l'implantation des cultures

Le choix des parcelles tient compte de la texture et/ou de la couleur du sol, de l'aspect et de l'âge de la végétation.

Les sols considérés comme les plus riches par les paysans sont les sols «noirs» comportant des débris végétaux, peu gravillonnaires et moyennement sableux, généralement situés sur les flancs d'interfluves ou en bas de pente. L'âge de la jachère détermine le type de culture à mettre en place. Ainsi, les jachères de 5 ans au moins sont destinées à la culture de la banane plantain et à des cultures pérennes. Le choix des cultures peut se faire aussi en fonction de la topographie. Les sols en haut de pente sont réservés au caféier, au manioc, à l'igname et au maïs. Ceux situés en bas de pente sont affectés aux cultures légumières, au cacaoyer et à la banane plantain.

1. 2. 4. Calendrier et Techniques culturaux

Le calendrier cultural est soumis aux saisons et au cycle de développement des plantes cultivées. Les techniques quant à elles obéissent à des traditions agricoles de la région. La plupart des travaux sont réalisés à la main. Il s'en suit des temps de travaux assez longs et pénibles et qui, par conséquent, limitent les champs à de petites surfaces souvent inférieures à 1 hectare.

Le *défrichement* a lieu en *janvier-février*. L'abattage des gros arbres est effectué au moyen d'une tronçonneuse. Le dégagement de toutes les branches et herbes coupées est effectué par le brûlage qui intervient en *février-mars*.

Le *travail du sol* est fonction du type de culture à mettre en place. Ainsi, pour les ignames un buttage est toujours nécessaire. Les *buttes* sont effectuées en *mars-avril*. Elles sont en faible densité et n'obéissent à aucune norme précise d'espacement.

La *mise en place des cultures* se déroule d'*avril à juin*. Pour la banane plantain et le taro, le rejet qui constitue la bouture est mis dans un trou. Pour le manioc, les boutures sont plantées soit à plat lorsque la texture du sol est légère, soit sur de petites buttes pour des sols à texture lourde.

Le *sarclage* intervient quelques semaines après la mise en place des cultures. L'opération de sarclage se fait deux ou trois fois par an selon le besoin. Elle a lieu en *août* puis en *décembre* lorsqu'il s'agit de deux sarclages et en *mai-juin*, *août-septembre*, et *novembre-décembre* pour le cas de trois sarclages.

La *récolte* est fonction du cycle culturale des plantes.

*

Située à proximité (90 km) de la capitale économique du pays d'Abidjan, la région de Sikensi bénéficie d'une infrastructure bien développée pour la commercialisation des produits agricoles. Avec une densité de population croissante et le recul des recrues forestiers, le mode d'agriculture traditionnelle et itinérante devient inadapté aux conditions du milieu et insuffisant en production. Cette région représente une situation typique, comme ailleurs en Basse-Côte d'Ivoire forestière, où s'impose la nécessité d'une intensification de l'agriculture.

2. L'EXPERIMENTATION DU SITE IBSRAM DE BECEDI

Les essais réalisés sur le site IBSRAM de Bécédi ont pour but de mieux cerner les effets des pratiques culturales notamment les modes de défrichement et de travail du sol sur les transformations morphologiques et structurales et sur l'évolution des principaux paramètres physiques et chimiques du sol, ainsi que de leurs conséquences sur la production agricole. Pour ce faire, le choix des traitements s'est inspiré des pratiques déjà existantes dans la région. Quelques modifications ont cependant été apportées, l'objectif étant de rechercher des systèmes de cultures plus fiables.

2. 1. SYSTEME DE CULTURE

Un seul système maïs-arachide a été adopté. Les deux cultures se succèdent sur la même parcelle chaque année. La première, le maïs (*zea mays*), est un hybride Ferké 7928 qui a un cycle cultural de 90 jours. Elle est mise en place pendant la grande saison des pluies (avril-juillet). La seconde, arachide (*Arachis hypogea*), est une variété locale de cycle de 90 jours également, est cultivée pendant la petite saison des pluies (septembre-novembre).

Toutes les parcelles sont semées dans un laps de temps très court (2 à 3 jours). La densité de semis varie d'une culture à l'autre (Tableau I. 2. 4).

Tableau I. 2. 4 : Densité de plantation des cultures.

Cultures	Méthode de semis	Espacement et densité
Maïs	Poquet	0.20 m / 0.80 m soit 65000 pieds / ha
arachide	Poquet	0.20m / 0.30 m soit 166666 pieds / ha

Le calendrier de notre travail sur le terrain ne cadrant qu'avec le cycle cultural du maïs, seules les informations détaillées concernant cette culture seront exposées dans ce document. Le cycle cultural de l'arachide n'a pas été suivi dans le programme de la thèse.

2. 2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental comprend neuf blocs caractérisés chacun par un mode de défrichage (traditionnel, semi-mécanisé, ou mécanisé) (Tableau I. 2. 5). Chaque bloc comporte deux parcelles représentant chacune un mode de travail du sol, soit au total 18 parcelles sous cultures de 200 m² (20 m x 10 m) chacune et 1 parcelle témoin sous forêt. Le dispositif se résume de la manière suivante :

- 3 parcelles à défrichage traditionnel, sans labour (TS),
- 3 parcelles défrichage traditionnel, labour superficiel (tl),
- 3 parcelles défrichage semi-mécanisé, sans labour (SS),
- 3 parcelles défrichage semi-mécanisé, labour profond (SL),
- 3 parcelles défrichage mécanisé, sans labour (MS),
- 3 parcelles défrichage mécanisé, labour profond (ML),
- et une parcelle témoin sous forêt non défrichée (F).

Tableau I. 2. 5 : Combinaison des modes de défrichage et de travail du sol dans chacun des blocs

Témoin	Type de travail du sol	Modes de défrichage		
		T	S	M
Forêt secondaire (F)	Sans labour S	x	x	x
	Labour superficiel I	x		
	Labour profond L		x	x

T : traditionnel ; S : semi-mécanisé ; M : mécanisé

2. 3. MODES DE DEFRICHEMENT

Trois modes de défrichage ont été retenus (YORO, 1992).

Le défrichage *traditionnel* (T) ou manuel : c'est le type pratiqué depuis toujours par les autochtones et dans presque toutes les régions forestières de la Côte d'Ivoire. Tous les travaux se

font à la main. Il comporte l'abattage manuel du sous-bois et des arbres suivi du séchage et du brûlage ; tous les troncs et autres débris encombrants sont ensuite dégagés à la main.

Le défrichement *semi-mécanisé* (S) comporte l'essartage manuel du sous-bois, suivi de l'abattage et du dégagement des arbres au bulldozer équipé de dents. L'objectif est de réduire les mouvements du Bulldozer et par conséquent son impact sur le sol.

Le défrichement *mécanisé* (M) est la technique de défrichement motorisé, la plus utilisée en Côte d'Ivoire. L'abattage du sous-bois et des arbres, suivi de leur dégagement est entièrement réalisé au bulldozer.

Le défrichement des neuf blocs représentant les trois modes de défrichement (traditionnel, semi-mécanisé et mécanisé), en trois répétitions, a eu lieu de février à mars 1991. Le dégagement total des débris restant après brûlis des parcelles défrichées manuellement a eu lieu du 18 au 25 avril 1991. Après le défrichement, les deux parcelles élémentaires de 200 m² ont été installées dans les neuf blocs en tenant compte de la topographie (Figure I. 2. 4).

2. 4. LE TRAVAIL DU SOL

Trois types de travail du sol ont été également appliqués. Ils diffèrent par leur degré de modification du sol.

Le *sans labour* (S) ou zéro travail : la surface du sol conserve son aspect résultant du défrichement et les semis se font en poquet ;

Le *labour minimum* (I) : le labour est plus ou moins superficiel (5 à 10 cm de profondeur environ) et effectué à la houe ; il consiste à ameublir le sol et à confectionner des billons dans le sens de la longueur des parcelles. Ce type de labour a été affecté uniquement aux parcelles défrichées traditionnellement (T).

Le *labour* (L) : il est réalisé au tracteur muni d'une charrue à disques pour la première année, puis à socs les autres années. Les disques ont été utilisés la première année à cause des nombreuses racines et lianes qui jonchent le sol de la nouvelle défriche. Ce labour profond (30 cm au moins de profondeur) est effectué une fois par an, à la mise en place du premier cycle de culture. Après le labour, des billons, espacés de 0,80 m, sont confectionnés à la houe dans le sens de la longueur des parcelles et perpendiculairement à la ligne de pente. Le labour profond n'est appliqué qu'aux parcelles à défrichement semi-mécanisé et mécanisé (M et S).

Les labours suivis de la confection des billons ont été effectués de 1991 à 1994, du 25 au 30 avril.

En 1992 et 1994, tous les labours profonds et les labours superficiels ont été effectués à la houe car il a été impossible de trouver un tracteur. Ce labour à la houe a cependant respecté l'épaisseur de sol travaillée initialement.

2. 5. LES AUTRES INTERVENTIONS TECHNIQUES

2. 5. 1. Le semis

De 1991 à 1994, le maïs a été semé dans la deuxième quinzaine du mois d'avril. L'arachide a toujours été semée la deuxième quinzaine de septembre.

2. 5. 2. Fertilisation

Compte tenu de la faible fertilité naturelle du sol forestier (Cf. Chapitre 1. 5), des amendements chimiques ont été adoptés pour supprimer d'éventuels facteurs limitants, qui seraient dus à la carence en certains éléments comme le phosphore et le potassium, afin de permettre une durabilité de l'exploitation pendant un temps suffisamment long, à même de mieux faire apprécier les effets du défrichement et du travail du sol. Deux types d'engrais ont été utilisés : le phosphate tricalcique et l'engrais composé NPK (10-18-18). Les doses appliquées chaque année sont indiquées dans le tableau I. 2. 6. Les engrais sont épandus une seule fois l'an, lors de la mise en place du maïs. Toutes les parcelles reçoivent la même dose d'engrais dans le même laps de temps et avant le travail du sol.

Tableau I. 2. 6 : Doses d'engrais (kg / parcelle 200 m² / an) apportées lors de la mise en culture du maïs de 1991 à 1994

Engrais	1991	1992	1993	1994
Phosphate tricalcique (kg)	27	25	15	15
NPK (10-18-18-) (Kg)	8	8	4	5

Compte tenu de l'apport des résidus de récolte laissés à la surface du sol, les doses d'engrais ont été réduites à partir de 1992 comme le montre le tableau I. 2. 6 ci-dessus.

2. 5. 3. Entretien des cultures

Pour lutter contre les rongeurs, une clôture en grillage métallique a été posée tout autour de l'ensemble des parcelles.

En première année de culture, 1991, le désherbage a été effectué une seule fois. En deuxième année (1992) de culture, il y a eu deux sarclages en mai puis en juillet pendant le cycle cultural du maïs. En 1993, trois sarclages ont été nécessaires et en 1994, le nombre de sarclage n'a pas changé.

2. 6. LES CONTRAINTES IMPLIQUEES DANS LA DIFFERENCIATION DES SITUATIONS ETUDIEES

Les situations établies sur le site IBSRAM résultent d'interventions différentes au moment du défrichement et des cultures qui ont suivies, de 1991 à 1994. On peut dire aussi que, par rapport au milieu forestier (F), les situations de mise en culture (tableau I. 2. 5.) ont été induites par des contraintes différentes liées aux interventions réalisées. Et il nous paraît utile, à ce stade du travail, de préciser quelque peu ces contraintes auxquelles on aura à se référer dans l'étude comparative qui suit.

Si l'on peut, dans le cas présent, considérer comme contrainte toute action ou force s'opposant au fonctionnement naturel de l'écosystème forestier, il est difficile, pour son appréciation, de faire abstraction des objets ou éléments de l'écosystème auxquels elle s'applique et qui en manifestent les effets : c'est-à-dire ici essentiellement la végétation et le sol.

A partir de ces considérations, une appréciation simple des contraintes correspondant aux différentes situations étudiées est proposée. Elle s'appuie sur une notation chiffrée à 3 rangs : a, b, c.

- Les deux premiers rangs s'appliquent aux contraintes intervenant au moment du défrichement et s'exerçant sur l'intégrité de la végétation naturelle (1er rang : a) et du sol (2ème rang : b).

- Le troisième rang (c) concerne le travail du sol qui modifie son état physique au cours des cultures.

Pour chacun de ces cas, une note est attribuée de 0 à 2 :

- 1er rang (a) : intégrité de la végétation forestière naturelle,

* pas de modifications : 0

* suppression uniquement des parties aériennes^(*) : 1

^(*) Avec restitution partielle de la minéralomasse (sous l'effet du brûlage) de même que de la biomasse (résidus non brûlés).

* suppression totale (parties aériennes, souches et racines) :	2
- 2ème rang (b) : intégrité du sol forestier,	
* pas de modification (et pas de circulation d'engins) :	0
* mouvements d'engins et perturbations physiques du sol modérés :	1
* mouvements d'engins et perturbations physiques du sol importants :	2
- 3ème rang (c) : travail du sol,	
* aucun (sauf sarclage) :	0
* labour manuel (et billonnage) peu profond :	1
* labour mécanisé (et billonnage) profond :	2

En appliquant ces principes de notation aux 7 situations étudiées sur le site IBSRAM de Bécédi, on aboutit aux résultats suivants :

F	TS	TI	SS	SL	MS	ML
000	100	101	210	212	220	222

L'ordre établi au défrichement (deux premiers rangs) traduit naturellement un degré croissant de contrainte, à la fois au niveau de la végétation et du sol, en rapport avec l'importance du matériel utilisé et l'intensité de son utilisation ; le même constat s'appliquant pour le 3ème rang en ce qui concerne le labour.

On doit se garder de porter, ici, à partir de cette simple appréciation, tout jugement de valeur sur les conséquences bénéfiques ou défavorables touchant à l'évolution du sol et de sa fertilité, à la suite des différents cas de mise en culture. Mais il convient de garder à l'esprit la nature et l'importance des contraintes attachées à chacune des situations étudiées, pour l'analyse et l'interprétation des modifications de l'état du sol et du développement de la culture du maïs qui font l'objet de la suite de ce travail.

DEUXIEME PARTIE

**LES EFFETS DU DEFRICHEMENT ET DU
TRAVAIL DU SOL SUR LA CROISSANCE DU
MAIS ET SUR L'EVOLUTION DU SOL**

LES EFFETS DU DEFRIQUEMENT ET DU TRAVAIL DU SOL SUR LA CROISSANCE DU MAIS ET SUR L'EVOLUTION DU SOL

TROIS NIVEAUX D'ANALYSE STRATIFIEE

L'étude des conséquences du mode de défrichage et de travail du sol sur l'évolution de l'état du sol et sur le développement de la culture de maïs est conduite selon une approche stratifiée avec trois principaux niveaux d'analyse hiérarchisée (figure 1).

Ayant choisi, dans ce travail, de privilégier l'étude des modifications morpho-structurales (sans pour autant écarter toute considération pour les caractères chimiques et biologiques), la nécessité de se référer au contexte organisationnel du sol nous paraissait devoir être suivie de façon aussi stricte que possible. Il est en effet évident, ici plus que pour tout autre domaine d'investigation, que la qualité et la précision des études réalisées dépend pour beaucoup de la capacité à ne pas confondre ce qui peut être distingué.

La figure 1 identifie les trois principaux niveaux d'investigation considérés, avec les observations et déterminations réalisées à chacun de ces niveaux et les sujets de questionnement qui y sont posés. L'ensemble ressort des principaux éléments de différenciation spatiale du milieu physique, en l'occurrence du sol, ayant pu être identifiés sur le site d'étude. Il en résulte que la prise en compte des variations spatiales est un élément essentiel de la démarche suivie, car elle permet de choisir l'emplacement des points d'étude ou des prélèvements d'échantillon aux endroits les mieux appropriés pour les différents niveaux d'analyse.

Avec le souci de relier la situation de 1994 à celle existant au moment du défrichage, en 1991, les variations temporelles ont aussi pu être abordées en s'appuyant sur les données de l'étude suivie, réalisée par G. YORO, sur le site expérimental, depuis 1991. Elles concernent uniquement l'échelle parcellaire, ainsi que l'hétérogénéité de surface induite par le défrichage en 1991.

Pour toutes les autres données concernant les caractères du sol et de la culture du maïs, à l'échelle des zones de différenciation intraparcellaire et à celle du profil cultural, leur étude a été réalisée sur le terrain, spécifiquement pour ce travail en 1994.

Les résultats sont présentés selon trois chapitres concernant successivement l'échelle parcellaire, les zones de différenciation intraparcellaires et le profil cultural.

Niveaux de stratification spatiale et paramètres étudiés

Questions

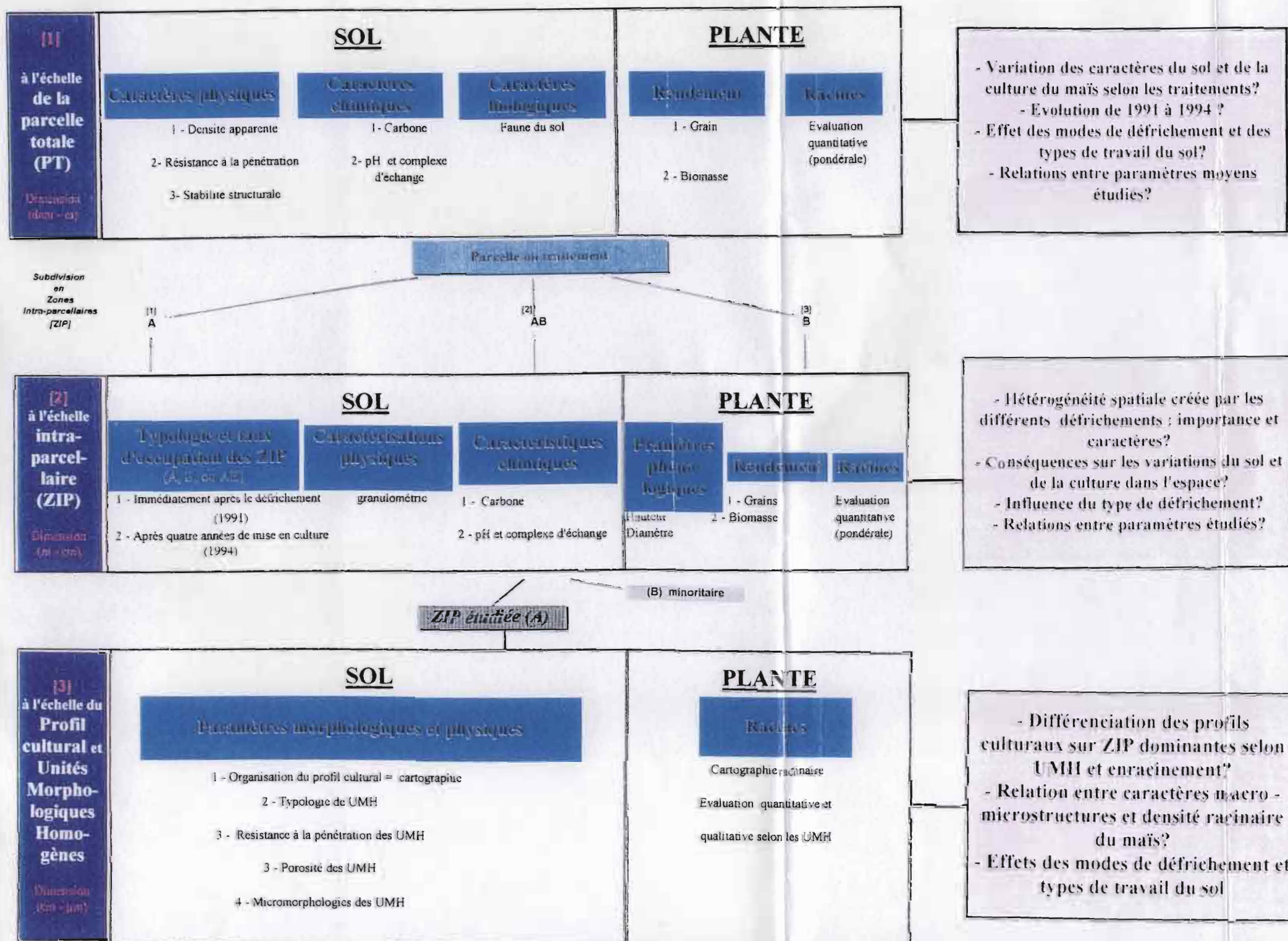


Figure 1 : Schéma synoptique des différents niveaux d'approche stratifiée

Nous nous efforcerons, avec la hiérarchisation des observations et déterminations, d'affiner l'analyse des paramètres du sol et de culture du maïs en relation avec les différentes conditions de défrichement et de culture représentées par les situations étudiées. Nous tâcherons ainsi de faire ressortir l'effet du mode de défrichement et celui du travail du sol, par comparaison entre les différentes situations culturelles et la forêt. Nous essaierons aussi de préciser les rapports existant entre divers paramètres du sol et de la culture de maïs, aux différents niveaux de perception, et d'en dégager la signification vis-à-vis des conséquences des conditions de mise en culture.

CHAPITRE 1

RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS A L'ECHELLE PARCELLAIRE

RAPPEL DES RESULTATS OBTENUS A L'ECHELLE PARCELLAIRE

Ce chapitre présente, conjointement, les résultats concernant la culture du maïs et l'évolution des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol, à l'échelle de la parcelle globale et sur les quatre années de pratiques culturales, de 1991 à 1994. Toutes les données de terrain et d'analyses utilisées dans ce chapitre ont été obtenues, à l'exception des données sur la faune, par G. YORO (YORO et *al*, 1995). Elles ont été exploitées avec le logiciel Statgraphics.

1. PROTOCOLES D'ETUDE

Deux types de paramètres ont été pris en compte dans cette étude : les paramètres édaphiques et les paramètres agronomiques. Les méthodes utilisées pour la détermination des différents paramètres sont indiquées ci-dessous.

1. 1. DETERMINATION DES PARAMETRES EDAPHIQUES

A l'exception de celles faisant l'objet d'indications spécifiques, les déterminations considérées à l'échelle de la parcelle globale sont faites sur des échantillons composites de 3 prises élémentaires prélevées sur les 20 premiers centimètres du sol.

1. 1. 1. Densité apparente

La densité apparente (d_a) a été déterminée dans les 20 premiers centimètres du sol par la méthode au sable (AUDRY et *al.*, 1973 ; YORO et GODO, 1990). Compte tenu de la nature graveleuse du sol étudié, cette méthode s'est avérée la mieux adaptée. Elle consiste en la détermination du poids spécifique apparent (assimilé numériquement à la densité apparente d_a) d'un volume de sol déterminé in situ d'après le volume de la cavité qu'il laisse après prélèvement. Une cavité (10 cm x 10 cm, en surface) est creusée dans le sol sur une surface plane taillée horizontalement. La totalité de la terre est prélevée pour la détermination de son poids sec P . La cavité est remplie de sable calibré dans la classe dimensionnelle de 2-1 mm. Le volume V_a de sable versé correspond à celui de l'échantillon prélevé : $d_a = P/V_a$.

Les mesures ont été faites en trois répétitions par parcelle, sur le témoin sous forêt et sur les 9 parcelles non labourées, immédiatement après les défrichements en 1991, puis à la fin de chaque campagne agricole de 1991 à 1993, en janvier, à la récolte de l'arachide et après la récolte du maïs, en septembre 1994.

1. 1. 2. Résistance à la pénétration

La *résistance à la pénétration* a été mesurée verticalement à partir de la surface du sol à l'aide d'un pénétromètre à percussion (BILLOT, 1982 ; YORO, 1984). Dans le cadre de cette étude, la profondeur d'exploration de la tige pénétrométrique a été limitée à 20 cm, au lieu de 50 cm de profondeur préconisée par BILLOT (1982), puis par YORO (1990). Cette limite (20 cm) s'est imposée, à cause de la forte concentration en éléments grossiers qui provoque la casse de la tige et qui, en outre, induirait une source supplémentaire de variation (YORO, 1995). La résistance (R) est calculée par la formule empirique dite «des Hollandais» : $R = P^2H / 2(P+p)ES$

où R est la résistance à la pénétration en kg / cm², P : le poids du mouton (masse) en kg, p : le poids de la tige et de l'enclume en kg, S : la section de la pointe conique en cm², H : la hauteur de la chute du mouton en cm, E : l'enfoncement par chute du mouton en cm.

Avec l'appareil utilisé, $R = 1,473 / E$

Les mesures de résistance ont été faites en 1991, 1992 et en 1994 sur toutes les parcelles avant les semis, puis après la récolte. Sur les parcelles labourées, les mesures ont été faites sur les billons et dans les espaces entre les billons. Elles ont été répétées dix fois sur les billons, dix fois entre les billons et dix fois sur les parcelles non labourées. L'humidité du sol constituant un facteur de variation de la résistance à la pénétration (MAERTENS, 1964 ; VALENTIN, 1981 ; CALIMAN, 1990), les mesures ont été faites dans un laps de temps très court, non interrompu par la pluie (YORO et *al.*, 1995). En 1993, la détermination a été suspendue puis reprise en 1994 car les résultats des années précédentes 1991 et 1992 donnaient les mêmes informations.

1. 1. 3. Humidité

Le taux d'humidité se déduit des pesées suivantes : p = poids de la boîte à tarre ; p' = poids de la boîte à tarre + terre séchée à l'air ; p'' = poids de la boîte à tarre + terre séchée à 105°C à l'étuve. La teneur en eau en % de la terre séchée à 105°C est : $Eau (\%) = [(p' - p'') / (p'' - p)] \times 100$

D'une manière générale, l'humidité a été déterminée lors des mesures pénétrométriques et pendant les saisons marquées. Les mesures sont faites sur des échantillons composites de trois prises de sol dans la couche 0 - 20 cm sur les billons, puis dans l'espace entre les billons. Comme pour la pénétrométrie, la détermination de l'humidité a été suspendue en 1993 et reprise en 1994.

1. 1. 4. Stabilité structurale

La stabilité structurale a été estimée par la méthode de HENIN et *al.* (1969) qui revient à déterminer l'indice d'instabilité structurale (IS) de Hénin déduit à partir du taux :

- d'agrégats stables dans l'eau sans prétraitement, après prétraitement à l'alcool et après prétraitement au benzène. Le pourcentage des agrégats stables est la moyenne arithmétique des trois types d'agrégats.

- de la fraction 0 - 20 cm (A + L maximum) et celle de sable grossier (SG) les plus élevées qui sont déterminées sur le prétraitement benzène (plus destructif). Cette fraction détermine l'aptitude de la terre à se disperser. L'indice d'instabilité structurale (IS) est donné par la formule suivante.

$$IS = \frac{(A + L) \text{ maximum } \%}{\text{Moyenne des agrégats } \% - (0,9) \text{ SG } \%}$$

Les mesures ont été faites sur toutes les 18 parcelles, successivement, en fin de campagne agricole des années 1991, 1992 et 1993. Les déterminations sont faites sur des échantillons composites formés de trois prises par parcelle dans l'horizon 0 - 20 cm du sol.

1. 1. 5. Granulométrie

La *concentration des éléments grossiers* (diamètre > 0,2 mm) en surface constitue une autre forme de dégradation du sol car, au-delà d'un taux de 50 %, ils réduisent la réserve en eau du sol (BOA, 1990). L'évaluation pondérale des éléments grossiers comporte les détails suivants :

- 10 prélèvements composites à l'aide d'un tube cylindrique de 5 cm de diamètre sur une épaisseur de 5 cm. Sur les parcelles labourées, les échantillons ont été pris sur les billons.

- Les échantillons sont séchés à l'air, ensuite débarrassés des débris végétaux, pesés, tamisés à 2 mm pour séparer les éléments grossiers (diamètre > 2 mm) de la terre fine. Les éléments grossiers sont lavés, puis suffisamment séchés à l'air avant d'être pesés. Le taux d'éléments grossiers est calculé selon la formule : $C = (p/P) \times 100$ où

C : est la concentration ou le taux pondéral ; **p** : le poids des éléments grossiers; et **P** : le poids de l'échantillon de terre prélevé.

L'*analyse granulométrique sur terre fine* (< 2 mm) est effectuée au granulomètre automatique « Granulostat » selon le principe de la norme AFNOR X 31 - 107 (1983). Après la destruction de la matière organique à l'eau oxygénée (H₂O₂) et une mise en suspension avec un mélange hexamétaphosphate de sodium et carbonate de sodium, le prélèvement des fractions fines

(A et A+L) est effectué, automatiquement, à l'aide d'une pipette de Robinson. Les sables sont séparés par tamisage après élimination des fractions fines par lavages successifs.

1. 1. 6. Déterminations chimiques

Le *carbone total* est déterminé à l'analyseur élémentaire CHN 600-LECO. Le dosage se fait par combustion à l'oxygène pur à 950°C dans des cellules à infrarouges.

L'*azote total* est déterminé sur analyseur LECO PF 428. La combustion de l'échantillon se fait dans un four à induction et le dosage de l'azote par une cellule de conductivité thermique.

Le *phosphore assimilable* est déterminé par la méthode OLSEN modifiée (DABIN, 1965). L'extraction se fait à froid par une solution de bicarbonate de sodium (0,5 N) et de fluorure d'ammonium (0,5 N) à pH 8,5 dans un rapport 1/50. Le dosage se fait par colorimétrie automatique par la méthode au bleu de molybdène.

Le *phosphore total* est extrait par attaque à l'acide perchlorique (HClO₄) concentré et le dosage, par colorimétrie à froid et à l'auto-analyseur, Technicon, suivant la méthode de MURPHY et RILEY (1962).

Le *pH* est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Tacussel électronique), muni d'une électrode de verre, dans une suspension de rapport sol / solution = 1/2,5. Pour le *pH_{KCl}*, 1,86 g de KCl pur est ajouté à la suspension obtenue pour le *pH_{eau}* et la mesure est effectuée après 30 minutes.

La *capacité d'échange cationique* et les *cations échangeables* du sol sont déterminés par la méthode à l'acétate d'ammonium à pH 7.

1. 2. LES PARAMETRES AGRONOMIQUES

Ces paramètres agronomiques concernent l'estimation du taux de levée, du rendement et l'enracinement du maïs.

1. 2. 1. Taux de levée

Le taux de levée (en %) est déterminé par comptage systématique de tous les pieds sur toutes les parcelles deux à trois semaines environ après le semis. Il est défini par :

$$L (\%) = \frac{\text{Nombre de jeunes plants}}{\text{Densité des plants par parcelle}} \times 100$$

1. 2. 2. Evaluation de la production végétale

Le rendement est évalué en poids de grains et en poids de biomasse à l'hectare (tonne/ha). Pour ce faire, des pieds sont prélevés sur 2 mètres déterminés sur 5 lignes choisies au hasard. Sur chaque parcelle les prélèvements s'effectuent donc sur 10 mètres de lignes semées au total. Les pieds échantillonnés sont subdivisés en épis et en paille. Les poids secs des grains et de la paille sont déterminés après séchage à l'étuve à 60°C pendant 48 heures. Le rendement est déterminé comme suit.

$$\text{Rendement (Rt)} = (\text{taux de levée (\%)} \times \text{poids moyen de l'épi} \times \text{densité de semis})/100$$

Pour la biomasse, le poids moyen de l'épi est remplacé par celui des tiges et spaths.

1. 2. 3. Evaluation de l'enracinement

Aperçu sur les méthodes d'étude des racines

Il existe plusieurs méthodes d'étude de l'enracinement des plantes. Ce sont, entre autres:

- la méthode des grilles (TARDIEU, 1986; BLIC, 1990) qui permet de déterminer la répartition des racines en fonction des différentes unités morphologiques sur un profil cultural,
- la technique de NEWMAN (1966) d'évaluation quantitative du développement des racines qui consiste à déterminer la longueur des racines par unité de volume de sol en place (longueur volumique) ; technique de réalisation assez laborieuse (TRI, 1968 ; HENIN, 1977),
- la méthode pondérale (MAERTENS et *al.*, 1964) qui consiste à prélever un volume déterminé de sol. L'échantillon est tamisé dans l'eau et toutes les racines sont recueillies, triées, séchées à 60°C et pesées. On obtient ainsi le poids de racines par unité de volume de terre. C'est une technique d'utilisation facile, mais elle se prête mieux aux sols à structure homogène peu cassante et à texture fine.

Méthode choisie pour la quantification des racines

La nature graveleuse du sol étudié se prête peu aux méthodes précitées. Il est en effet difficile voire impossible de prélever un volume déterminé de sol. Une technique adaptée, variante de la méthode pondérale de Maertens, a été appliquée (YORO, 1990). Elle consiste à estimer le poids de racines par rapport au poids de terre prélevée. La totalité de la terre prélevée dans un rayon de 7,5 cm autour du pied de maïs (7,5 cm représente la moitié de la distance entre deux pieds consécutifs

de maïs) est séchée à l'air et pesée (**P**). Un tri est effectué pour éliminer les autres racines. L'échantillon est ensuite lavé dans un tamis de maille de 0,8 mm, pour collecter toutes les racines de maïs. Ces racines sont séchées à l'air et pesées (**P'**). La densité (**d**) de racines pour 100 g de terre est : $d = (P'/P) 100$

Chaque échantillon composite, en trois répétitions, est constitué de trois échantillons élémentaires. Les prélèvements ont été faits dans les tranches 0 - 10 cm, 10 - 20 cm et 20 - 30 cm, chaque année de 1991 à 1994 au mois d'août, sur les 18 parcelles.

1. 2. 4. Inventaire faunique

Pour l'évaluation de la faune du sol, dix profils biologiques de 30 cm de profondeur ont été effectués, par parcelle, à l'aide d'un cylindre de 10 cm de diamètre. Ces profils ont été subdivisés en 5 strates comprenant la litière, 0-5, 5-10, 10-20 et 20-30 cm. La faune est récupérée à l'aide d'une pince et conservée dans de l'alcool à 70%, pour les déterminations. En plus des sondages, les nids de termites sont dénombrés. L'étude concerne 6 parcelles expérimentales représentant les trois modes de défrichement traditionnel (T), semi-mécanisé (S), mécanisé (M) et les trois types de travail du sol sans travail (S), labour superficiel (I) et labour profond (L), et la parcelle témoin sous forêt (F).

2. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PARAMETRES DU SOL

2. 1. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL

2. 1. 1. Densité apparente

Les valeurs moyennes de densité apparente obtenues de 1991 à 1994, dans les 0 - 20 cm supérieurs du sol sur les parcelles non labourées issues des trois modes de défrichement traditionnel (TS), semi-mécanisé (SS) ou mécanisé (MS) ainsi que celles obtenues sur le témoin forestier sont inscrites au tableau II.1.1.

Tableau II.1.1 : Valeurs moyennes de la densité apparente dans les horizons 0 - 20 cm du sol des différents traitements, immédiatement après les défrichements et de 1991 à 1994.

Parcelles	<i>Après les défrichements 1991</i>	1991	1992	1993	1994 <i>après maïs</i>
F	1,31 a	1,32 a	1,29 b	1,31 a	1,31 a
TS	1,33 a	1,30 a	1,21 a	1,29 a	1,35 b
SS	1,36 ab	1,31 a	1,30 b	1,35 b	1,42 c
MS	1,39 b	1,39 b	1,37 c	1,40 c	1,48 d

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Nombre de données par année = 30.

TS, SS, et MS sont les parcelles non labourées issues des modes de défrichements traditionnel, semi-mécanisé et mécanisé. F est le témoin sous forêt

Les traitements se différencient, d'une part, par l'accroissement de la densité et, d'autre part, par la vitesse d'augmentation des valeurs par rapport à celles de la forêt. Les valeurs sous forêt n'ont pas significativement évolué depuis le défrichement.

Dès le défrichement (1991), l'augmentation respective de la densité apparente est de l'ordre de 1,5 %, 4 % et de 6 % sur les parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées par rapport à la valeur sous forêt. La densité apparente apparaît significativement plus élevée sur les parcelles mécanisées que sur les parcelles semi-mécanisées et traditionnelles (Tableau II. 1. 1). L'écart significatif entre les traitements est le plus net à la fin du dernier cycle cultural du maïs, en 1994, où les augmentations respectives par rapport à la forêt sont de 3 %, 8 % et de 12 % pour TS, SS et MS. Ce qui montre que le tassement du sol a été deux fois plus important sous culture au cours des quatre années d'exploitation par rapport au sol sous forêt.

Malgré les irrégularités enregistrées à la fin des campagnes agricoles de 1991 et de 1992, où les valeurs ont baissé, les augmentations respectives de densité apparente, depuis les défrichements de 1991 à 1994, sont de l'ordre de 1,5 %, 4 % et de 6,5 % sur les parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées. Le sol a donc accusé un léger tassement de manière proportionnelle aux contraintes résultant des opérations de défrichement.

Il ressort, de cette étude de l'évolution de la densité apparente du sol, que les défrichements semi-mécanisés et mécanisés ont entraîné un tassement plus important (une augmentation de la densité apparente) de l'horizon 0 - 20 cm du sol. Cette augmentation de la densité apparente est d'autant plus importante que le défrichement est entièrement effectué au bulldozer.

2. 1. 2. Résistance mécanique à la pénétration

La valeur considérée sur chacune des 18 parcelles, est la moyenne de dix mesures. Les valeurs moyennes de la résistance à la pénétration, en fonction de la profondeur, obtenues sur les trois années (1991, 1992 et 1994) de mesure sont rassemblées en annexe II.1.1. Les moyennes calculées en fonction de l'année, du mode de défrichement et du travail du sol sont inscrites aux tableaux II.1.2, 3 et 4.

Il ressort, des analyses effectuées au niveau de chaque traitement (Tableau II.1.2) en fonction des années de mesure, que *la résistance à la pénétration augmente de manière significative avec le temps de mise en culture* (1991 à 1994) pour tous les traitements. Ainsi, les valeurs en 1994 sont de l'ordre de 2 à 5 fois plus élevées qu'en début d'exploitation (1991). Ceci témoigne d'un effet de tassement du sol avec le temps de mise en culture. La vitesse de tassement est relativement plus élevée sur les parcelles traditionnelles dont les valeurs, significativement plus faibles en début d'expérimentation (1991), apparaissent peu différentes de celles des parcelles semi-mécanisées ou mécanisées en 1994 (Tableau II.1.3).

D'une manière générale, *la résistance à la pénétration augmente significativement avec la profondeur* (Figure II.1.1). Cette augmentation est plus accentuée sur les parcelles sans labour issues des défrichements semi-mécanisés et mécanisés, où les valeurs de résistance en profondeur (15 - 20 cm) sont 6 fois plus élevées qu'en surface 0 - 5 cm. Cette augmentation de la résistance en profondeur est peu marquée sur les parcelles traditionnelles où les valeurs en profondeur sont 4 fois supérieures à celles de surface.

Tableau II.1.2 : Evolution de la résistance à la pénétration (en Kg/cm²) des traitements selon les années 1991, 1992 et 1994 entre 0 - 20 cm du sol.

Années	<i>TS</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>TL</i>	<i>SL</i>	<i>ML</i>
1991	1,62 a 0,09	2,73 a 0,5	3,05 a 0,43	1,84 a 0,18	2,25 a 0,25	2,28 a 0,25
1992	4,83b 1,04	8,30 b 1,71	8,07 b 1,66	3,19 a 0,66	2,85 a 0,54	2,42 a 0,5
1994	7,18 b 1,26	7,69 b 1,12	7,60 b 1,07	6,40 b 1,04	6,42 b 0,91	7,19 b 1,14

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Nombre de données = 180 par parcelle. Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes.

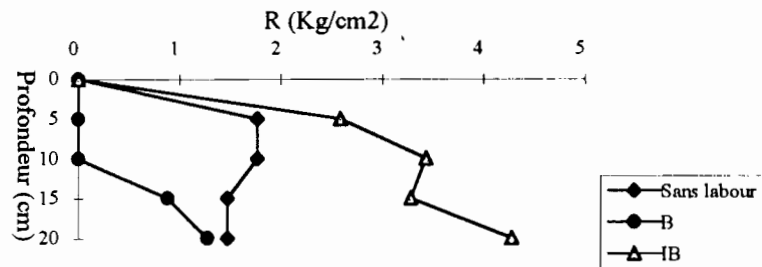
Tableau II.1.3 : Effet des défrichements sur la résistance mécanique à la pénétration (en Kg/cm²) dans les 0 - 20 cm du sol.

Défrichements	1991	1992	1994	Moyenne
T	1,73 a 0,1	4,01 a 0,63	6,79 a 0,8	4,18 a 0,42
S	2,50 b 0,28	5,25 a 1,04	7,05 a 0,72	5,04 a 0,48
M	2,67 b 0,25	5,58 a 1,03	7,39 a 0,76	5,20 a 0,49

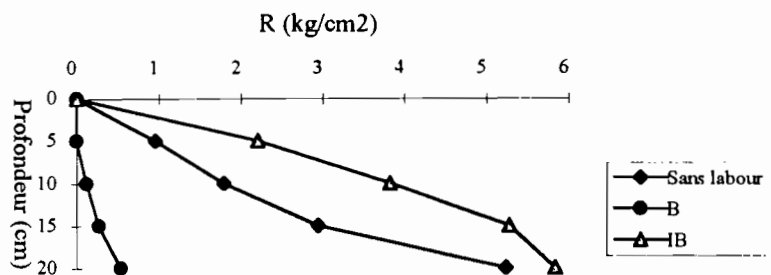
Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Nombre de données = 360 par année. Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes.

Pour ce qui est de l'effet des traitements, les valeurs sont *peu influencées par les modes de défrichement* (Tableau II.1.3). Les écarts significatifs observés entre les valeurs de résistance des parcelles traditionnelles (T) et celles des parcelles semi-mécanisées (S) et mécanisées (M) se limitent seulement à la première année de mise en culture (1991). Néanmoins, les valeurs de T apparaissent chaque année sensiblement inférieures à celles de S et de M. Ce qui tend à montrer que le traitement traditionnel offre, dans les 20 premiers centimètres du sol, de meilleures conditions d'enracinement aux plantes. A l'inverse, le défrichement mécanisé, dont les valeurs sont toujours les plus élevées, offrirait des conditions moins favorables. Cette tendance à la hausse des valeurs de résistance, plus importante sur les parcelles issues des défrichements semi-mécanisés ou mécanisés que sur les parcelles traditionnelles,

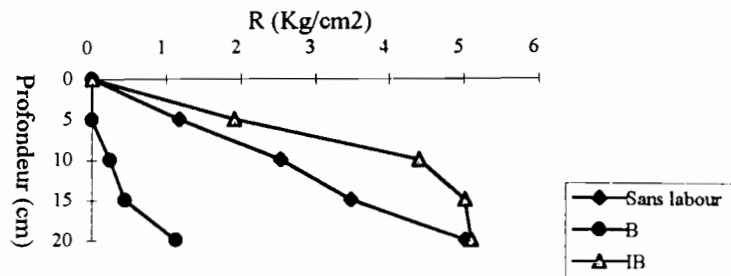
Parcelles traditionnelles



Parcelles semi-mécanisées



Parcelles mécanisées



R : résistance à la pénétration; B : billon; IB : interbillon

Tableau II.1.4 : Effet des traitements, du mode de travail, du billon et de l'interbillon sur la résistance à la pénétration entre 0-20 cm du sol, de 1991 à 1994.

Traitements	Résistances moyennes à la pénétration (Kg/cm²)			
TL	3,8 a	Avec labour	3,9 a	Billon 1,8 a 0,3
SL	3,8 a			
ML	4,0 a			
TS	4,5 ab	Sans labour	5,7 b	Interbillon 5,9 b 0,4
SS	6,2 b			
MS	6,2 b			

Pour chaque colonne, les moyennes affecté de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-keuls

N=1080 données.

Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes.

TS, SS et MS : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées sans labour

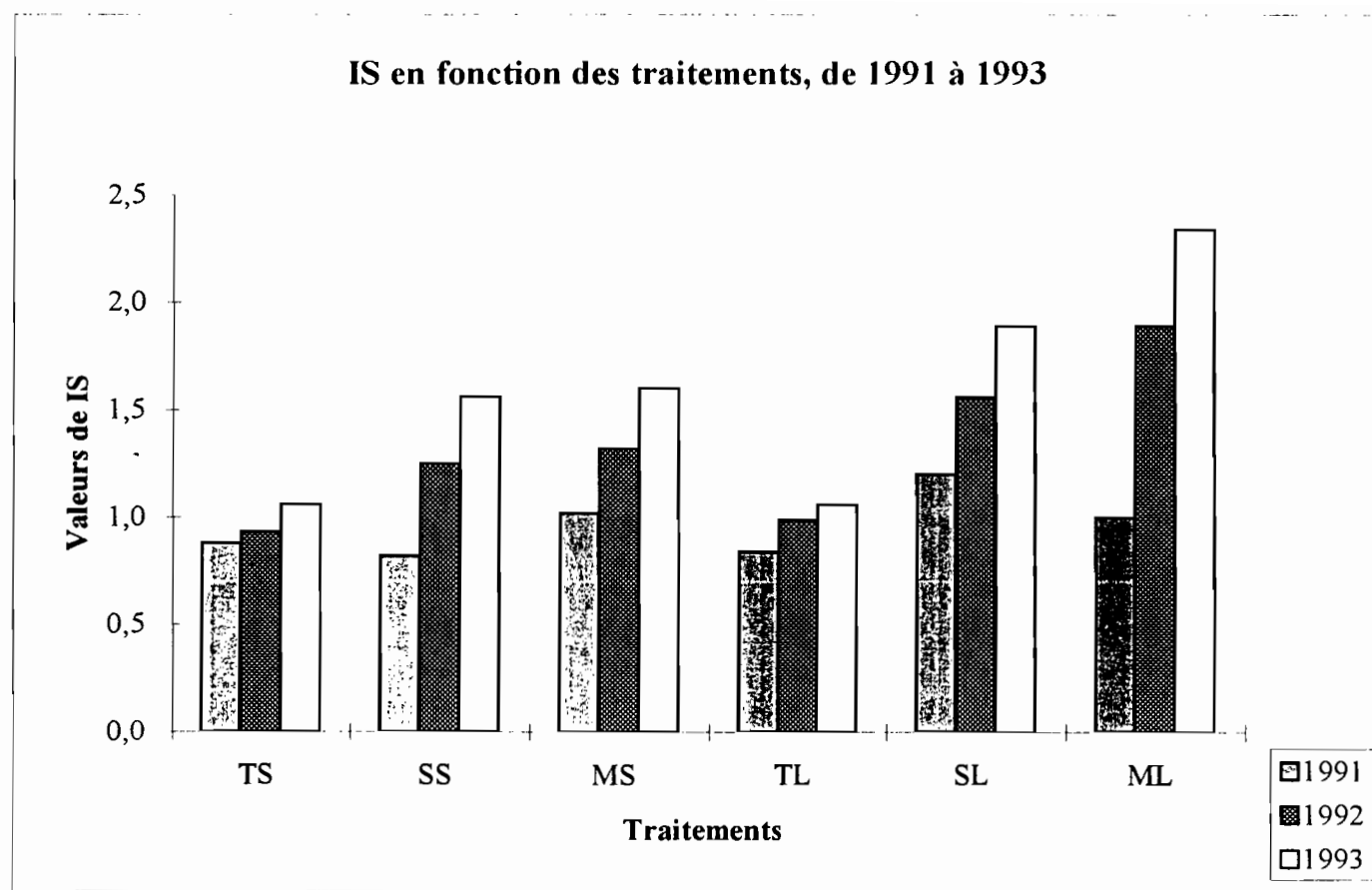
TL, SL et ML : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées labourées

apparaît être en rapport avec la densité apparente du sol qui s'accroît significativement sur ces parcelles S et M après les défrichements et au bout des quatre années de mise en culture.

Contrairement à l'effet du défrichement qui s'exprime peu, *la résistance à la pénétration est significativement liée au travail du sol* (Tableau II.1.4). La Valeur moyenne de résistance sur les parcelles labourées est d'environ 1,5 fois plus faible que celle des parcelles non labourées. L'écart est surtout marqué sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées, où les valeurs sans le labour sont près de 2 fois supérieures à celles des traitements labourés au tracteur. Le labour superficiel dans le système traditionnel induit peu de variation. Quoique la moyenne reste supérieure sur le sol non labouré, la différence n'apparaît pas significative (Tableau II.1.4). Outre la forte diminution de la résistance à la pénétration dans les couches remaniées, le labour crée aussi une discontinuité verticale qui marque la limite entre l'horizon labouré et celui non remanié. La profondeur de cette discontinuité varie selon le type de labour. Elle est située vers 10 cm de profondeur environ pour le labour superficiel et entre 20 et 30 cm environ pour le labour profond au tracteur. Ce front de labour peut constituer un obstacle à la pénétration des racines (MEREDITH et PATRICK, 1961 ; BARLEY et GREACEN, 1967).

2. 1. 3. La stabilité structurale

Toutes les données sur les composantes de stabilité structurale dans les 20 premiers centimètres du sol sont inscrites en annexe II.1.2 et II.1.3. Les valeurs moyennes de l'indice d'instabilité structurale IS en fonction des traitements, de 1991 à 1993, sont représentées à la Figure II.1.2 et les résultats d'analyse de variance en vue de dégager les effets des traitements (défrichement ou travail du sol), sont résumés dans les Tableaux II.1.5 à II.1.7.



TS, SS et MS : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées sans labour; TL, SL et ML : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées labourées

Figure II.1.2 : Evolution de l'indice d'instabilité structurale des différents traitements, de 1991 à 1993

Tableau II.1.5 : Composantes de stabilité structurale pour toutes les situations confondues dans les 20 premiers cm du sol, de 1991 et 1993.

Types d'agrégats		1991	1993	Probabilité
Types d'agrégats	Agb	29,76 b	24,46 a	0,0001
		1.03	0.68	
	Age	32,53 b	27,65 a	0,0003
		1.02	0.61	
	Aga	42,51 a	42,05 a	0,7890
		1.17	1.23	
Moyenne Ag		34,93 b	31,39 a	0,0047
		0.98	0.61	
A + Lim (max)		15,81 a	21,19 b	0,0009
IS		0,96 a	1,59 b	0,0032
		0.35	0.39	

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. N = 216. Les chiffres en *italique* représentent les écart-types sur les moyennes. Aga, Agb et Age sont les agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool, au benzène et sans prétraitement. A + Lim(max) = argile + limon valeur maximale, tirée du traitement au benzène.

L'augmentation des valeurs moyennes de IS avec le temps de mise en culture (Figure II.1.2) va dans le même sens que celle, significative, des teneurs en éléments fins [A+Lim(max)], ainsi que la baisse significative des taux d'agrégats stables à l'eau sans prétraitement (Age), ou après prétraitement au benzène (Agb) (Tableau II.1.5). Cette évolution des composantes de la stabilité structurale, montre que *la structure du sol se dégrade avec le temps*, sous l'effet de la mise en culture, pour tous les traitements.

Tableau II.1.6 : Valeurs moyennes de l'indice d'instabilité structurale (IS) dans les 20 premiers cm du sol, selon le mode de défrichement de 1991 à 1993

Défrichements	1991	1992	1993	Moyenne
Traditionnel	0,86 a <i>0,17</i>	0,96 a <i>0,03</i>	1,06 a <i>0,08</i>	0,96 a <i>0,04</i>
Semi-mécanisé	1,01 a <i>0,16</i>	1,41 a <i>0,16</i>	1,73 b <i>0,15</i>	1,38 ab <i>0,15</i>
Mécanisé	1,01 a <i>0,15</i>	1,61 a <i>0,29</i>	1,81 b <i>0,29</i>	1,48 b <i>0,20</i>
Probabilité	0,5974	0,1874	0,0286	0,0490

Pour chaque colonne les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.
N = 54 Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes.

Tableau II.1.7 : Valeurs moyennes de l'indice d'instabilité structurale (IS) entre 0 et 20 cm selon le mode de travail du sol, de 1991 à 1993.

Travail	1991	1992	1993	Moyenne
Sans labour	0,91 a <i>0,06</i>	1,17 a <i>0,12</i>	1,41 a <i>0,11</i>	1,16 a <i>0,10</i>
Minimum labour	0,84 a <i>0,27</i>	0,99 a <i>0,00</i>	1,06 a <i>0,12</i>	0,96 a <i>0,07</i>
Labour profond	1,10 a <i>0,10</i>	1,73 a <i>0,17</i>	2,12 b <i>0,23</i>	1,65 b <i>0,20</i>
Probabilité	0,2510	0,1013	0,0399	0,0238

Pour chaque colonne les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.
N = 54 Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes.

L'analyse de variance selon le mode de défrichement (Tableau II.1.6) montre une *dégradation plus importante de la stabilité structurale* du sol sur les blocs défrichés *partiellement (S) ou totalement (M) au bulldozer*, en troisième année (1993) de mise en culture. Les valeurs moyennes de IS des parcelles S (1,7) ou M (1,8) sont significativement supérieures à celle des parcelles traditionnelles (T) (1,1). Les différences ne sont pas significatives les deux premières années (1991 et 1992) d'exploitation. Cependant, les valeurs plus élevées de IS sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées traduisent une tendance à la dégradation, plus accrue sur ces parcelles S et M dès le départ.

Les comparaisons selon le mode de travail du sol (Tableau II.1.7) montrent que *le labour profond* effectué sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées *a entraîné une dégradation*

significative *de la structure du sol*, surtout en troisième année de mise en culture (1993). Les valeurs moyennes de IS sur ces parcelles labourées au tracteur sont environ 2 fois plus élevées que celles du sol labouré superficiellement à la houe et 1,5 fois plus élevées que celles du sol non labouré. Le labour superficiel n'a pas d'effet néfaste sur la stabilité structurale du sol.

Outre l'effet du défrichement et du travail du sol qui se manifeste avec la durée de l'exploitation, il se dégage aussi une différence de vitesse de *dégradation de la structure* entre 1991 et 1993 qui apparaît *plus importante sur les parcelles semi-mécanisées (S) ou mécanisées (M)* que sur les traditionnelles (T). Cette vitesse de dégradation de la structure du sol est évaluée par le taux d'accroissement, en pourcentage, des valeurs moyennes de IS entre 1991 et 1993. Il est de 23 % pour T, 71 % pour S et de 79 % pour M.

*

Les valeurs de l'indice d'instabilité structurale évoluent dans le même sens que celles de la densité apparente et de la résistance à la pénétration. Elles montrent ainsi que les traitements semi-mécanisés et mécanisés ont entraîné une dégradation physique plus importante du sol. Les caractères physiques du sol se sont peu dégradés sous l'effet du système traditionnel.

La dégradation des qualités physiques du sol que l'on voit au tableau II.1.8 se manifeste :

- *par rapport au sol sous forêt*, par l'augmentation des valeurs de la densité apparente de l'ordre de 3 à 13 % et des valeurs de la résistance à la pénétration de 226 à 250 % en allant des parcelles traditionnelles aux parcelles semi-mécanisées et mécanisées sans labour. L'ordre d'ampleur de dégradation croissante est respecté également sur les parcelles labourées Tl, SL et ML pour la résistance à la pénétration dont l'augmentation est de l'ordre de 191 à 227 %. Les deux autres paramètres physiques ; densité apparente et indice d'instabilité structurale n'ont pas été déterminés par rapport à la forêt témoin pour les parcelles labourées.

- *en comparaison des valeurs initiales des mêmes paramètres déterminés sur les parcelles immédiatement après le défrichement* (Tableau II.1.8), on note une plus forte croissance de la densité apparente et une dégradation plus importante de la stabilité structurale du sol, sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées que sur les parcelles traditionnelles. Le labour accentue la dégradation de la stabilité structurale, comme cela a été montré plus haut (cf. Chapitre I. 3), tout en conservant l'ordre croissant de IS : $Tl < SL < ML$.

Tableau II.1.8 : Comparaison de l'augmentation des valeurs des paramètres physiques du sol entre 0 et 20 cm, au bout des quatre années de mise en culture (1994), par rapport à leurs valeurs initiales sous forêt ou à partir du défrichement (1991).

Traitements	Taux d'augmentation des valeurs des paramètres physiques (%)					
	<i>Densité apparente</i>		<i>Résistance à la pénétration</i>		<i>Instabilité structurale IS</i>	
TS	3	<i>1,5</i>	226	<i>343</i>	nd	<i>20</i>
SS	8	<i>4,4</i>	250	<i>182</i>	nd	<i>90</i>
MS	13	<i>6,5</i>	246	<i>149</i>	nd	<i>57</i>
TI	nd	<i>nd</i>	191	<i>248</i>	nd	<i>26</i>
SL	nd	<i>nd</i>	192	<i>185</i>	nd	<i>58</i>
ML	nd	<i>nd</i>	227	<i>215</i>	nd	<i>134</i>

En caractères normaux : l'évolution par rapport à la forêt initiale : *en italique gras* : par rapport à la valeur obtenue immédiatement après le défrichement nd : non déterminé. TS, SS et MS : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées sans labour. TI, SL et ML : Parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées labourées

En revanche, pour ce qui est de la résistance à la pénétration (Tableau II.1.8), la vitesse d'augmentation des valeurs sur les parcelles traditionnelles non labourées apparaît environ 2 fois supérieure à celle sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées. Le labour atténue cette vitesse de compactation du sol, mais les valeurs restent supérieures sur les parcelles traditionnelles. Sur les parcelles semi-mécanisées (S) et mécanisées (M) l'élévation proportionnellement moindre par rapport aux valeurs plus élevées au départ, de la résistance à la pénétration peut être due à la forte variabilité spatiale de ces parcelles (existence de zones ameublies par les essouchements des arbres au moment du défrichement). Mais il est difficile, à cette échelle, de juger de l'impact réel de l'hétérogénéité des parcelles, les mesures étant faites de manière globale sans tenir compte de la variabilité morphologique.

Cependant, les valeurs absolues de la résistance à la pénétration restent toujours plus faibles sur les parcelles T que sur S et M ; les valeurs de résistance sont plus faibles au départ sur ces parcelles traditionnelles (T) qui n'ont pas subi de contraintes mécaniques au moment du défrichement (Cf. Tableaux II.1.2 et II.1.3).

Pour ces trois paramètres physiques, densité apparente, résistance à la pénétration et stabilité structurale, l'ampleur de la dégradation du sol selon le mode de défrichement et du travail du sol est dans l'ordre croissant T < S < M.

2.2. LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Les analyses chimiques ont été faites sur l'horizon 0 - 20 cm du sol sur les 18 parcelles successivement pendant les quatre années de mise en culture (1991 à 1994) en début de chaque campagne agricole. Toutes les données sont inscrites en annexe II.1.4.

Les valeurs moyennes des différents paramètres chimiques pour les années 1991 et 1994 sont inscrites dans les tableaux II.1.9 et II.1.10. Les taux de variation, en pourcentage, des valeurs moyennes des différents paramètres sont représentés à la figure II.1.3. Ils sont calculés d'après l'opération : Taux (%) = $[(X2 - X1)/X1] \cdot 100$ avec X1 : valeur en 1991 et X2: valeur en 1994.

2. 2. 1. Le carbone et l'azote

Tableau II.1.9 : Comparaison de teneurs en carbone et en azote entre 1991 et 1994, en fonction des traitements dans les 20 premiers cm du sol.

Traitements	Carbone (mg/g de sol)		Azote (mg/g de sol)	
	1991	1994	1991	1994
Traditionnel (T)	23,3 b <i>1.9</i>	22.8 a <i>2.5</i>	2.1 b <i>0.1</i>	1.6 b <i>0.1</i>
Semi-mécanisé (S)	17.2 a <i>1.2</i>	17.4 a <i>1.4</i>	1.7 ab <i>0.2</i>	1.3 a <i>0.1</i>
Mécanisé (M)	16.1 a <i>1.9</i>	19.3 a <i>1.5</i>	1.7 a <i>0.1</i>	1.5 ab <i>0.1</i>
Probabilité	0.0014	0.2072	0.0845	0.1030

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % du test de Newman-Keuls. Les écart-types sont inscrits en italique. N = 18 pour chaque année.

Les différences significatives (Tableau II.1.9), d'environ 6 et 7 mg/g de sol, de teneur en carbone, enregistrées en première année (1991), immédiatement après les défrichements entre les parcelles traditionnelles et les parcelles semi-mécanisées et mécanisées, disparaît avec la durée de mise en culture. L'influence du mode de défrichement sur le carbone n'est pas significative pour les autres années (1992 à 1994), quoique les valeurs restent plus élevées sur les parcelles traditionnelles. Il apparaît cependant une tendance à l'augmentation (de l'ordre de 20 %) des teneurs en 1994 par rapport à celles de 1991, surtout, sur les parcelles mécanisées. Les valeurs sur

les parcelles semi-mécanisées varient peu (de l'ordre de 1 %). En revanche, la tendance est à la baisse de 2 % sur les parcelles traditionnelles (Figure II.1.3). Ces variations n'apparaissent pas statistiquement significatives. Le travail du sol n'a pas non plus d'effet sur la concentration en carbone total. L'azote évolue de la même manière que le carbone. Les teneurs (Tableau II.1.9) ont baissé avec la durée de mise en culture, mais les variations ne sont pas significatives. Il n'y a pas non plus d'effet des traitements sur les teneurs en azote.

2. 2. 2. pH et complexe d'échange

Le pH, l'aluminium échangeable, les bases échangeables et le taux de saturation ont évolué proportionnellement par rapport à leur niveau issu des différents modes de défrichement (Tableau II.1.10).

D'une manière générale, *les valeurs de pH* (Tableau II.1.10) sur les parcelles traditionnelles sont significativement supérieures à celles des parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Le mode de travail du sol n'a pas d'effet sur le pH. La comparaison des valeurs en fin d'essais (1994) à celles du début de l'exploitation des parcelles (1991) montre une baisse significative de 10 %, 3 % et 4 % respectivement sur les parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées. Le sol s'est donc acidifié davantage avec la mise en culture (Figure II.1.3) et de manière plus rapide sur les parcelles traditionnelles où les valeurs sont initialement les plus élevées.

Pour la *somme des bases échangeables (SBE)* (Tableau II.1.10), la *capacité d'échange des cations (CEC)* et le *taux de saturation du sol en base (V)*, les valeurs demeurent significativement plus élevées sur les parcelles issues du défrichement traditionnel que sur les semi-mécanisées ou mécanisées après quatre années de mise en culture. En revanche, *les teneurs en aluminium échangeable (Al^{3+})* restent significativement plus élevées sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Comme dans le cas du carbone, de l'azote et du pH, il ne s'est pas révélé d'effet significatif du travail du sol sur ces paramètres de fertilité chimique du sol.

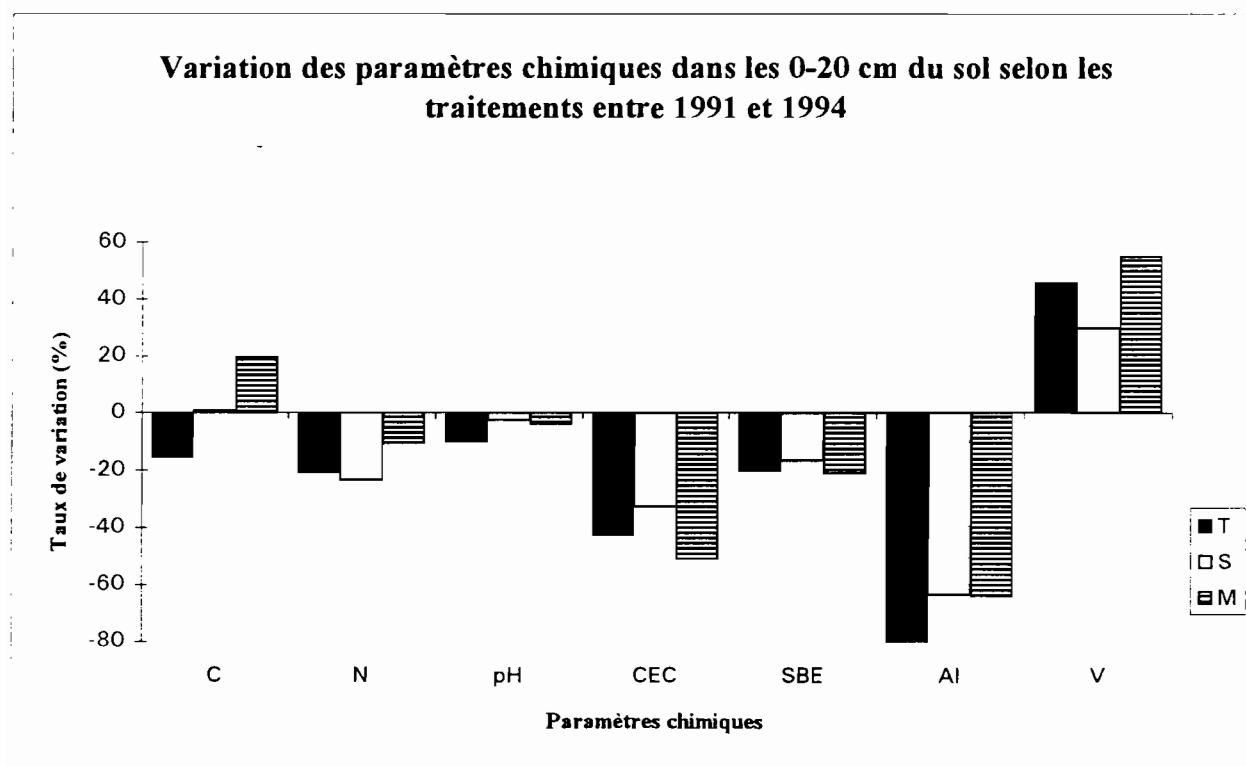


Figure II.1.3 : Evolution des paramètres chimiques du sol entre 1991 et 1994 selon le mode de défrichage

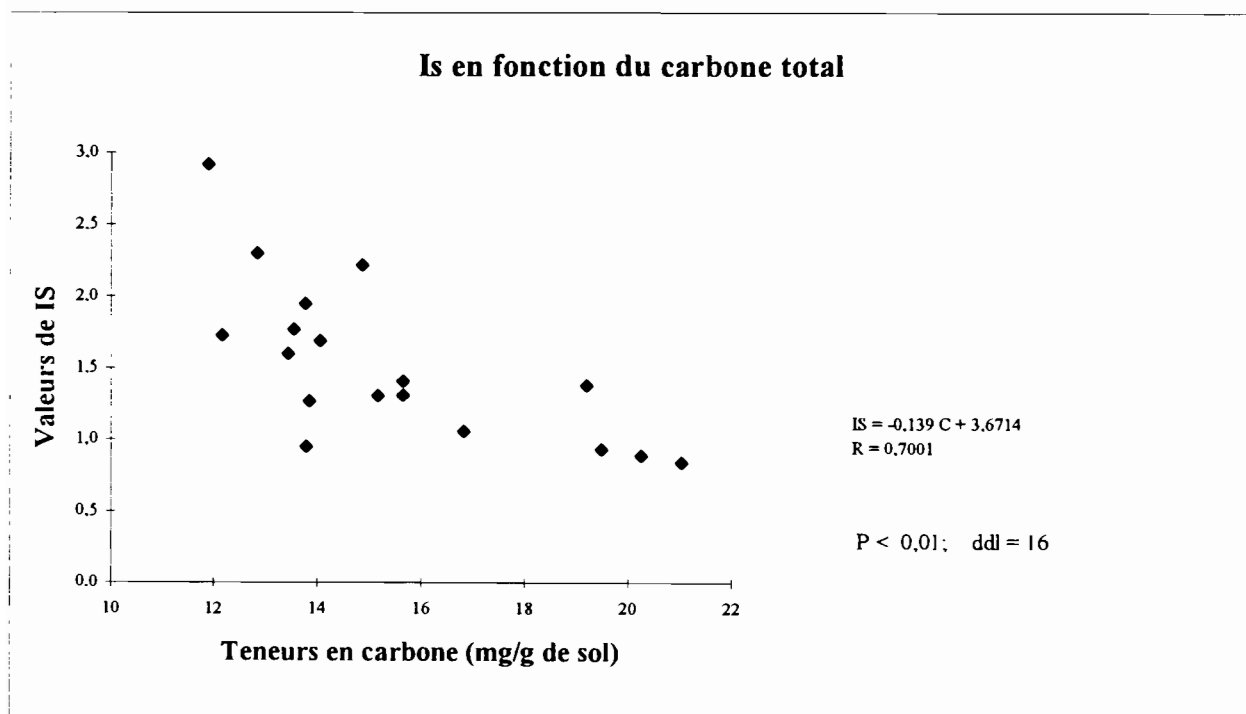


Figure II.1.4 : Effet de la teneur en carbone sur l'indice d'instabilité structurale

Tableau II.1.10 : Etat chimique du sol selon les défrichements en 1991 et après quatre années de mise en culture en 1994.

Modes de Défrichements	pH		Al ³⁺		SBE Cmolc.Kg-1		CEC		V (%)	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
Traditionnel (T)	5,47 b <i>0,08</i>	4,91 b <i>0,05</i>	0,85 a <i>0,32</i>	0,17 a <i>0,02</i>	4,99 b <i>0,73</i>	3,98 b <i>0,50</i>	7,10 b <i>0,73</i>	4,06 b <i>0,45</i>	66,79 b <i>4,34</i>	97,20 b <i>2,45</i>
Semi-mécanisé (S)	4,70 a <i>0,14</i>	4,57 a <i>0,05</i>	0,85 a <i>0,10</i>	0,31 a <i>0,06</i>	2,30 a <i>0,47</i>	1,92 a <i>0,19</i>	3,92 a <i>0,43</i>	2,64 a <i>0,15</i>	55,44 ab <i>5,68</i>	72,02 a <i>3,59</i>
Mécanisé (M)	5,16 ab <i>0,27</i>	4,95 b <i>0,04</i>	1,28 a <i>0,30</i>	0,46 b <i>0,06</i>	3,19 a <i>0,33</i>	2,51 a <i>0,32</i>	6,27 <i>0,46</i>	3,07 a <i>0,22</i>	51,91 a <i>4,20</i>	80,30 a <i>4,80</i>
Probabilité	0,0289	0,0002	0,3663	0,0029	0,0087	0,0031	0,0031	0,0146	0,0581	0,0008

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différente au seuil de 5 % du test de Newman-Keuls. Les écart types sont inscrits en *italique*. * 1991 ** 1994

D'une manière générale, la *SBE* baisse significativement sur toutes les parcelles de 1991 à 1994 (Figure II.1.3). La diminution est de 20 %, 17 % et 21 % respectivement sur les parcelles traditionnelles (T), semi-mécanisées (S) et mécanisées (M). La *CEC* évolue dans le même sens avec 43 %, 33 % et 51 %, de même que Al^{3+} avec 80 % sur T et de 64 % sur S et M. Les valeurs de V augmentent de 46 % à 55 % au cours des quatre années de mise en culture. Le taux de saturation du complexe adsorbant en Al^{3+} ou indice (m) de Kamprath (1970) : $m = [Al^{3+}/(Al^{3+} + SBE)] \times 100$, reste faible sur toutes les parcelles. Les valeurs respectives en 1991, de 15 %, 27 % et 29 % sur les parcelles T, S et M, baissent de près de trois fois sur les parcelles traditionnelles et de l'ordre de deux fois sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées en 1994. Dans tous les cas, m est en dessous du seuil de toxicité aluminique. Ceci indique ainsi que la concentration en Al^{3+} ne devrait pas être un facteur limitant le développement et une cause de différence de production du maïs suivant les traitements, du moins, dans les 20 premiers centimètres du sol analysés.

*

Les parcelles traditionnelles doivent leur meilleur potentiel chimique, après quatre années de culture, à l'enrichissement en bases par les cendres issues du brûlage de la biomasse végétale défrichée. L'ordre croissant de potentiel de fertilité chimique, entre les traitements, pour le pH et le complexe d'échange, est $S < M \ll T$. Le niveau de concentration en carbone et en azote n'est pas significativement différent entre les traitements au bout des quatre années de culture. Le labour, qu'il soit superficiel sur les parcelles traditionnelles, ou profond au tracteur pour les semi-mécanisées ou mécanisées, n'a aucun effet sur ces éléments.

2. 3. RELATION ENTRE LES PARAMETRES PHYSIQUES ET LES PARAMETRES CHIMIQUES

La relative richesse des parcelles traditionnelles en carbone peut expliquer, en partie seulement, les faibles valeurs de IS sur ces parcelles traditionnelles comparativement aux parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. A ce propos, l'étude de régression linéaire entre les composantes de la stabilité structurale et les autres paramètres chimiques du sol montre que l'indice d'instabilité structurale IS est corrélé de façon significative à $p = 0,05$, à la teneur en carbone (Figure II.1.4).

Ces résultats vont dans le même sens que ceux de nombreuses études, réalisées sur différents types de sol, qui se sont intéressées aux causes de la dégradation physique du sol soumis à l'exploitation. Ces travaux, dont ceux de MARTIN (1963), GODEFROY et *al.* (1969), HENIN et *al.*

(1969), OADES et WATERS (1991), BARTOLI et *al.* (1992 a et b), ANGERS et *al.* (1993), ANGERS et CARTER (1995), attribuent à l'unanimité la dégradation de la structure du sol, essentiellement, à la baisse de teneur en matières organiques et aux oxydes, dans le cas des sols riches en oxydes (OADES et WATERS, 1991). MARTIN (1963) spécifie que la MO jeune ou peu évoluée est la plus impliquée, contrairement à la place accordée, jusqu'alors, aux composées humiques dans l'agrégation du sol. Les substances organiques les plus impliquées semblent être les carbo-hydrates (ANGERS et *al.*, 1993) produits par la biomasse microbienne (HAYNES et SWIFT, 1990 ; HAYNES et *al.*, 1991).

Pour ce qui nous concerne, la dégradation de la structure du sol avec le temps de mise en culture des parcelles traditionnelles serait donc en rapport avec la baisse de teneur en carbone suite à la mise en culture. Dans ces conditions, l'on devrait enregistrer une amélioration de la stabilité structurale sur les parcelles mécanisées dont la concentration en carbone présente une tendance à l'amélioration. Toutefois cela n'est pas observé. Ces parcelles mécanisées présentent la plus forte dégradation structurale. Ce constat nous amène à rechercher ailleurs, outre l'influence du carbone, des facteurs qui induiraient une baisse de la stabilité structurale et les écarts entre les traitements. Ces questions qui ne peuvent être élucidées à cette échelle d'étude seront clarifiées plus loin aux niveaux des approches plus fines.

3. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA PRODUCTION DU MAIS

3. 1. RENDEMENT DU MAIS

Le rendement constitue un facteur déterminant pour juger de l'efficacité des pratiques testées sur la production agricole. Il est ici évalué en tonnes de grains secs ou de biomasse sèche par hectare (t/ha). La biomasse est constituée de l'ensemble des tiges et des spaths du maïs. Les valeurs des composantes de rendement des quatre années consécutives (1991 à 1994) de culture sont regroupées en annexe II.1.5. Les valeurs moyennes de production en grains et en biomasse, après traitements statistiques, sont inscrites dans les Tableaux II.1.11 à II.1.14.

En 1991, les moyennes indiquent de faibles variations de rendement en grains en fonction des traitements (Tableau II.1.11), mais celles-ci ne sont pas significatives.

Tableau II.1.11 : Rendement (t/ha) en grains secs de maïs, selon les traitements, de 1991 à 1994.

Traitements	1991	1992	1993	1994
TS	4,18 a <i>0.11</i>	1,36 ab <i>0.11</i>	2,38 ab <i>0.15</i>	3,23 abc <i>0.65</i>
SS	4,83 a <i>0.12</i>	2,01 b <i>0.46</i>	2,25 ab <i>0.18</i>	2,61 a <i>0.46</i>
MS	4,74 a <i>0.42</i>	1,82 ab <i>0.73</i>	2,44 ab <i>0.03</i>	2,82 ab <i>0.21</i>
TL	4,15 a <i>0.54</i>	2,35 b <i>0.33</i>	2,92 b <i>0.31</i>	4,82 d <i>0.16</i>
SL	4,55 a <i>0.68</i>	0,33 a <i>0.1</i>	2,79 b <i>0.2</i>	4,19 cd <i>0.19</i>
ML	4,81 a <i>0.33</i>	1,55 ab <i>0.79</i>	1,67 a <i>0.75</i>	3,82 bcd <i>0.31</i>
Moyennes	4.54	1.57	2.41	3.58
ETR (ddl = 53)	0.31	0.70	0.44	0.85
Probabilité (P)	0.7434	0.1628	0.2427	0.0096
C.V. (%)	6.81	44.56	18.38	23.72

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % du test de comparaison de Newman-Keuls. L'écart-type est en italique. P = Probabilité de refus du test d'inégalité des moyennes. ETR = Ecart-type résiduel.

Les deuxième et troisième années ont les rendements les plus faibles. D'une manière générale, la baisse de production en deuxième année (1992) est de plus de 50 % du rendement en grains par rapport à la première année de culture. Cette forte baisse de la production est due aux arrêts de pluie survenus au moment de l'épiéson du maïs. En quatrième année, le rendement est semblable à celui de la première année, pour les parcelles labourées. Les parcelles non labourées conservent un niveau de production peu différent de celui de la troisième année. L'analyse de variance (Tableau II.1.11) montre que les différences observées entre les moyennes des traitements ne sont pas non plus significatives, pour les années 1992 et 1993.

Tableau II.1.12 : Rendement (t/ha) en grains du maïs selon le mode de défrichement, de 1991 à 1994.

Défrichements	1991	1992	1993	1994
Traditionnel (T)	4,17 a <i>0.25</i>	1,85 a <i>0.2</i>	2,65 a <i>0.2</i>	4,03 a <i>0.25</i>
Semi-mécanisé (S)	4,69 a <i>0.31</i>	1,17 a <i>0.43</i>	2,51 a <i>0.1</i>	3,40 a <i>0.31</i>
Mécanisé (M)	4,78 a <i>0.24</i>	1,69 a <i>0.48</i>	2,06 a <i>0.38</i>	3,32 a <i>0.3</i>
Moyennes	4.55	1.57	2.42	3.58
ETR (ddl = 53)	0.33	0.36	0.32	0.39
Probabilité (P)	0.2533	0.4845	0.275	0.4055
C.V. (%)	7.24	22.65	13.41	10.85

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % du test de comparaison de Newman-Keuls. L'écart-type est en italique. P = Probabilité de refus du test d'inégalité des moyennes. ETR = Ecart-type résiduel

En revanche, en 1994, l'analyse montre des différences significatives de l'ordre de 1 à 1,6 t/ha de grains entre les parcelles. Les tests effectués, d'une part, en fonction du mode de défrichement et, d'autre part, en fonction du type de travail du sol, montrent que ces variations sont essentiellement liées au mode de travail du sol et non au mode de défrichement (Tableau II.1.12 et II.1.13). *La production sur les parcelles labourées est près de 2 fois supérieure à celle des parcelles non labourées.* Il ressort aussi que la production est relativement *plus élevée* (d'environ 0.8 t/ha) sur les parcelles défrichées traditionnellement, suivi d'un *labour superficiel* (tl) *que* sur celles défrichées partiellement ou entièrement au bulldozer avec un *labour profond au tracteur* (SL ou ML). Les parcelles non labourées (TS, SS et MS) présentent la plus faible production en grains de maïs. L'ordre croissant de production est : SS < MS < TS << ML < SL < TL.

Tableau II.1.13 : Rendement (t/ha) en grains du maïs selon le mode de travail du sol de 1991 à 1994.

Travail du sol	1991	1992	1993	1994
Sans labour (S)	4,58 a <i>0.17</i>	1,73 ab <i>0.27</i>	2,36 a <i>0.07</i>	2,89 a <i>0.26</i>
Labour superficiel (I)	4,15 a <i>0.54</i>	2,35 b <i>0.33</i>	2,92 a <i>0.31</i>	4,82 b <i>0.16</i>
Labour profond (L)	4,68 a <i>0.34</i>	0,94 a <i>0.44</i>	2,23 a <i>0.43</i>	4,00 b <i>0.18</i>
Moyennes	4.47	1.67	2.50	3.90
ETR (ddl = 53)	0.28	0.71	0.37	0.97
Probabilité (P)	0.5550	0.0960	0.3343	0.0006
C.V. (%)	6.30	42.23	14.65	24.82

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % du test de comparaison de Newman-Keuls. L'écart-type est en italique. P = Probabilité de refus du test d'inégalité des moyennes. ETR = Ecart-type résiduel.

Tableau II.1.14 : Production (t/ha) de biomasse sèche de maïs, selon les traitements, de 1991 à 1994.

Traitements	1991	1992	1993	1994
TS	3,23 a <i>0.2</i>	1,91 ab <i>0.11</i>	2,55 ab <i>0.21</i>	2,85 a <i>0.4</i>
SS	3,91 abc <i>0.19</i>	2,89 bc <i>0.28</i>	2,32 ab <i>0.35</i>	3,22 a <i>0.27</i>
MS	4,30 cd <i>0.12</i>	2,95 bc <i>0.32</i>	3,02 b <i>0.02</i>	3,84 a <i>0.69</i>
TL	3,44 ab <i>0.49</i>	3,62 c <i>0.51</i>	2,90 b <i>0.33</i>	4,08 a <i>0.52</i>
SL	4,23 cd <i>0.26</i>	1,50 a <i>0.38</i>	2,53 ab <i>0.21</i>	3,33 a <i>0.074</i>
ML	4,68 d <i>0.4</i>	2,58 abc <i>0.66</i>	1,62 a <i>0.64</i>	3,67 a <i>0.06</i>
Moyennes	3.97	2.58	2.49	3.50
ETR (ddl = 53)	0.55	0.77	0.50	0.45
Probabilité (P)	0.4450	0.0388	0.1470	0.3554
C.V. (%)	13.87	29.73	20.00	12.85

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % du test de comparaison de Newman-Keuls. L'écart-type est en italique. P = Probabilité de refus du test d'inégalité des moyennes. ETR = Ecart-type résiduel.

Pour la production en biomasse, l'influence des traitements notée pour les deux premières années (Tableau II.1.14) ressort plutôt du mode de défrichage pour 1991 (entre traditionnel et mécanisé) et du type de travail du sol pour 1992 (traditionnel et semi-mécanisé). Pour les autres

années, les différences observées ne sont pas significatives, même pour 1994 où la production en grains est influencée par le type de travail du sol.

2. 2. ENRACINEMENT DU MAIS.

Il existe, entre sol et plantes, des interactions physiques et chimiques dont le siège est la rhizosphère (JAILLARD, 1982). Ainsi, de même que l'enracinement peut modifier la structure du sol (JACQUIN, 1978 ; MARTEL et DESCHENES, 1976 ; TRI, 1973), une mauvaise structure entrave le bon développement du système racinaire et son fonctionnement en tant que capteur d'éléments nutritifs pour la plante (TARDIEU et MANICHON, 1987 ; MASSE et *al.*, 1989). Selon CHARREAU (1970), 40 % de porosité représente une valeur seuil en dessous de laquelle l'enracinement ne se développe pas. Il est aussi connu que l'état de l'enracinement des plantes cultivées est un facteur qui conditionne leurs rendements (BLONDEL 1965 ; NICOU et THIROUIN, 1968). Un enracinement développé et profond, offre en effet à la plante de meilleures garanties d'alimentation en eau et en sels minéraux (CHARREAU, 1970).

Compte tenu du rôle important de l'enracinement des plantes, nous avons jugé nécessaire de dégager les effets des techniques culturales sur le développement du maïs par la méthode de quantification pondérale (Cf. méthode chapitre I. 1) en fonction de la profondeur du sol.

Les données recueillies (en trois répétitions sur chacune des 18 parcelles) couvrent quatre années d'observation (1991, 1992, 1993 et 1994), soit 216 mesures. Toutes les valeurs sont inscrites en annexe II.1.6. Les résultats des tests de comparaison de Newman-Keuls au seuil de 95 % sur les moyennes du poids de racines (g/100g de sol prélevé) effectués en fonction des traitements sont inscrits dans les tableaux II.1.15, à II.1.17. Les figures II.1.5 a, b et c, représentent respectivement l'effet de la profondeur sur le poids des racines (a), les poids moyens de racines en fonction des traitements pour chaque année (b), et les différences entre le poids moyen de racines obtenues sur les parcelles labourées et celui des parcelles non labourées pour un mode de défrichement donné (c).

D'une manière générale, le poids des racines, plus élevé en surface, décroît en profondeur (Figure II.1.5 a). Plus de 75 % des racines se trouvent entre 0 et 10 cm de profondeur et seulement 15 et 8 % dans les horizons 10 - 20 et 20 - 30 cm. La baisse est surtout brutale entre l'horizon 0 - 10 cm et l'horizon 10 - 20 cm qui correspond, en effet, au niveau d'apparition en forte concentration (> 50 %) des éléments grossiers (Cf. 1ère partie chapitre II).

Les oscillations (Figure II.1.5 b) enregistrées entre les différentes années, sur les parcelles défrichées partiellement ou totalement au bulldozer sans labour (SS et MS) et les parcelles défrichées manuellement suivies d'un labour superficiel (tl), ne sont pas significatives.

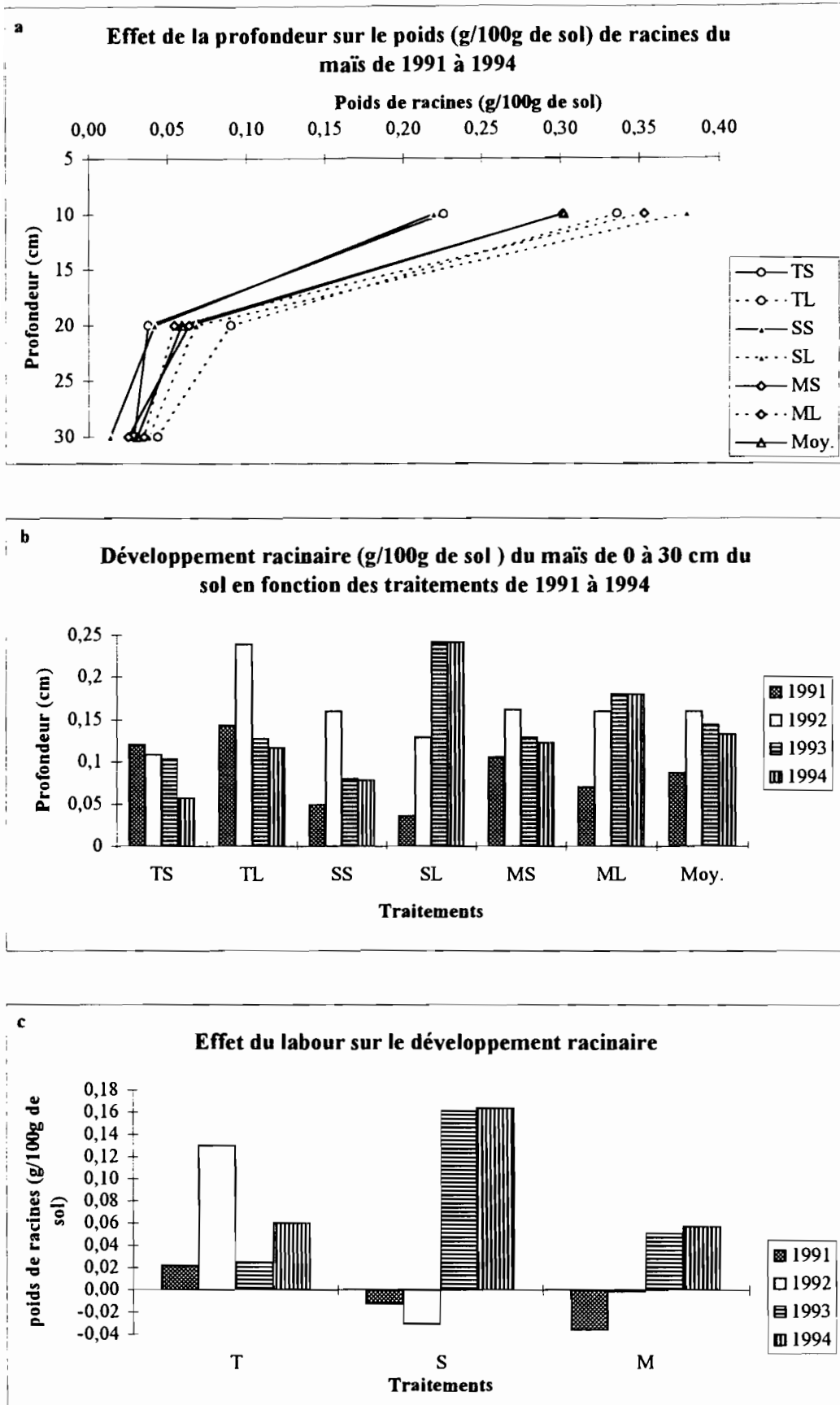


Figure II.1.5 : Comparaison du développement racinaire du maïs des différentes parcelles en fonction de la profondeur et de l'année.

Tableau II.1.15 : Variation pondérale (g/100g de sol) de l'enracinement du maïs selon les traitements de 1991 à 1994

Traitements	1991	1992	1993	1994
TS	0.12 bc <i>0.04</i>	0.11 a <i>0.04</i>	0.10 a <i>0.04</i>	0.06 a <i>0.03</i>
SS	0.05 ab <i>0.02</i>	0.16 a <i>0.07</i>	0.08 a <i>0.03</i>	0.08 ab <i>0.03</i>
MS	0.11 abc <i>0.03</i>	0.16 a <i>0.06</i>	0.13 a <i>0.07</i>	0.12 ab <i>0.07</i>
TL	0.14 c <i>0.04</i>	0.24 a <i>0.10</i>	0.13 a <i>0.04</i>	0.12 ab <i>0.03</i>
SL	0.04 a <i>0.01</i>	0.13 a <i>0.04</i>	0.24 a <i>0.11</i>	0.24 b <i>0.11</i>
ML	0.07 abc <i>0.02</i>	0.16 a <i>0.06</i>	0.18 a <i>0.07</i>	0.18 ab <i>0.07</i>
Moyennes	0.09 <i>0.01</i>	0.16 <i>0.03</i>	0.14 <i>0.03</i>	0.13 <i>0.03</i>
Probabilité (P)	0.0509	0.7908	0.5412	0.3368
CV % (ddl = 53)	12.64	16.25	18.06	18.80

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % d'après le test de comparaison de Newman-Keuls. Les écart-types sont inscrits en *italique*. P : probabilité de refus du test d'inégalité des moyennes. CV : coefficient de variation.

Tableau II.1.16 : Comparaison du poids de racines (g/100g de sol) des différents modes de défrichement de 1991 à

Défrichement	1991	1992	1993	1994
Traditionnel (T)	0.13 b <i>0.03</i>	0.17 a <i>0.05</i>	0.12 a <i>0.03</i>	0.09 a <i>0.02</i>
Semi-mécanisé (S)	0.04 a <i>0.01</i>	0.15 a <i>0.04</i>	0.16 a <i>0.06</i>	0.16 a <i>0.06</i>
Mécanisé (M)	0.09 ab <i>0.02</i>	0.16 a <i>0.04</i>	0.15 a <i>0.05</i>	0.15 a <i>0.05</i>
Moyennes	0.08 <i>0.05</i>	0.16 <i>0.02</i>	0.14 <i>0.02</i>	0.13 <i>0.04</i>
Probabilité (P)	0.006	0.898	0.753	0.462
CV% (ddl = 53)	51.53	14.88	10.17	30.10

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 95 % d'après le test de comparaison de Newman-Keuls. Les écart-types sont inscrits en *italique*.

Le mode de défrichement Tableau II.1.16 a une influence significative seulement en première année 1991, où le poids de racines, pour tous les horizons confondus et sur les parcelles traditionnelles, apparaît plus de 3 fois supérieur à celui des parcelles semi-mécanisées et d'environ 1,5 fois supérieur à celui des parcelles mécanisées. Pour les autres années, l'effet du mode de défrichement ne s'exprime pas.

Tableau II.1.17 : Comparaison du poids de racines dans les 0 - 30 cm du sol selon le mode de travail de 1991 à 1994

Paramètre mesuré	<i>Sans labour</i>	<i>Labour</i>	<i>Moyenne</i>
Poids moyens	0.11 a	0.16 b	0.13
(g/100g de sol)	<i>0.013</i>	<i>0.018</i>	<i>0.015</i>

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % d'après le test de comparaison de Newman-Keuls. Les écart-types sont inscrits en italique : P = 0.0350 ; CV % = 11.28. N = 216.

L'analyse de variance, sur toutes les parcelles et sur les quatre ans (1991 à 1994), selon le mode de travail du sol montre que l'enracinement est significativement plus développé sur les parcelles labourées que sur les non labourées (Tableau II.1.17). En revanche, considéré séparément l'effet du travail du sol ne s'exprime pas de manière significative quelle que soit l'année et les traitements (Tableau II.1.15). Mais la tendance est plus favorable à l'enracinement sur les parcelles soumises au labour profond (SL ML), les deux dernières années (1993 et 1994), sur les blocs semi-mécanisés et mécanisés, mais ne l'est pas en 1991 et 1992. La tendance favorable se traduit par un accroissement respectif en 1993 et en 1994 du poids de racines d'environ 201 et 210 % pour les parcelles SL et de 40 et 46 % pour ML par rapport à celui des parcelles non labourées des mêmes blocs. Sur les parcelles traditionnelles (tl), le labour superficiel favorise le développement racinaire quelle que soit l'année (Figure II.1.5 c). L'effet bénéfique du labour superficiel est surtout marqué en deuxième et quatrième année, où le gain en poids de racines est respectivement de 119 et 105 %, par rapport aux parcelles non labourées (TS).

Il apparaît, les deux dernières années (1993 et 1994), un effet positif du labour sur le développement racinaire du maïs, quoique les écarts n'apparaissent pas significatifs selon le test statistique, à cause de la forte variabilité des valeurs pour tous les modes de défrichement (Tableau II.1.15). En 1994, l'enracinement sur les parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées labourées (TL, SL et ML) apparaît respectivement de 2, 3 et 1,5 fois plus développé que sur les parcelles non labourées TS, SL et ML. Les parcelles défrichées partiellement au bulldozer suivie d'un labour profond (30 cm de profondeur environ) au tracteur (SL) présentent le meilleur

développement racinaire. Les parcelles mécanisées labourées également à 30 cm au tracteur (ML) viennent en deuxième position. Les parcelles (tl) traditionnelles avec un labour superficiel (5 à 10 cm de profondeur) ont le plus faible enracinement parmi les parcelles labourées. L'écart (de 12 et 6 mg/100 g de sol) entre l'enracinement des parcelles traditionnelles et celui des parcelles semi-mécanisées et mécanisées est dû au volume plus important de sol remanié disponible pour l'exploration des racines après un labour profond. La différence (de l'ordre de 6 mg/100 g de sol) d'enracinement entre les parcelles SL et les parcelles ML suscite, en revanche, des interrogations sur les facteurs pouvant limiter le développement racinaire dans les profils de sol, labouré sur ces blocs entièrement défrichés au bulldozer en comparaison aux blocs semi-mécanisées. Seules des études détaillées des profils culturaux nous permettront d'élucider cette question.

3. 3. RELATIONS ENTRE RACINES ET PRODUCTION

Tableau II.1.18 : Comparaison des rendements et de l'enracinement des traitements en 1994

<i>Rendement en tonnes/ha</i>	<i>Classement par ordre croissant</i>	<i>Enracinement en g/100 g de sol</i>	<i>Classement par ordre croissant</i>
2,61 a	SS	0,06 a	TS
2,82 ab	MS	0,08 ab	SS
3,23 abc	TS	0,12 ab	MS
3,82 bcd	ML	0,12 ab	TL
4,19 cd	SL	0,18 ab	ML
4,82 d	TL	0,24 b	SL
Probabilité	0.0096		0.3368

Pour chaque colonne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % d'après le test de comparaison de Newman-Keuls.

L'analyse des valeurs des rendements en grains et de l'enracinement du maïs montre, au terme des quatre ans de conduite agricole en 1994, où la production est significativement plus importante (Tableau II.1.18) sur les parcelles labourées que sur les parcelles non labourées, que les deux paramètres (racine et rendement) ne sont pas étroitement liés. L'ordre croissant de production apparaît opposé à celui de l'enracinement pour chacun des deux groupes de parcelles, avec et sans labour. Ainsi, les parcelles traditionnelles qui présentent la plus forte production ont l'enracinement le moins abondant, bien que les différences ne soient pas significatives, parmi les parcelles labourées. Il ressort donc que le rendement du maïs n'est pas strictement lié à l'enracinement, du

moins lorsqu'on considère les données à l'échelle globale de la parcelle entière. Mais nous ne pouvons nous limiter à cette échelle d'observation globale pour conclure sur les relations entre le développement racinaire et la production. Le rendement est évalué par rapport au taux de levée; or nous constatons que celui-ci est différent d'un traitement à l'autre. La relation entre le développement des racines et la production mérite donc d'être vérifiée en considérant, pour le même pied de maïs, l'enracinement et la production. Ceci est exposé au chapitre suivant, consacré à l'étude de l'hétérogénéité intraparcélaire.

4. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA FAUNE DU SOL

La macrofaune du sol revêt une grande importance en raison de son influence sur la régulation des propriétés physiques, chimiques et par conséquent la fertilité du sol, la croissance des plantes cultivées (DECAENS *et al.*, 1994; LAVELLE *et al.*, 1992, 1994; SPAIN *et al.*, 1992; STORK and EGGLETON, 1992; TRIGO et LAVELLE, 1993) et le rendement des cultures (BISHOSHA *et al.*, 1995; PACHANASI *et al.*, 1996). Parmi les causes de la baisse de la fertilité des sols, LAVELLE *et al.* (1992) considèrent la détérioration de la structure du sol, due à la baisse de l'activité des macro-organismes (macrofaune et racines), comme déterminante. Les invertébrés du sol sont considérés, par ces auteurs, comme l'un des principaux régulateurs de la décomposition dans les sols tropicaux. Les vers de terre et les termites sont de loin les macrofaunes les plus actifs du sol eu égard à leur influence sur la structure et la dynamique de la matière organique.

Cette influence de la faune du sol et en particulier des termites sur l'évolution de ses caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques a retenu l'attention de nombreux chercheurs comme HARIS (1954, 1971), HESSE (1955),), BOYER (1958, 1969, 1971, 1982), BACHELIER (1973), MALDAGUE (1964), GOODLAND (1965), LEE et WOOD (1968), GARNIER-SILLAM (1987), GARNIER-SILLAM *et al.* (1987), JANEAU et VALENTIN (1987), TANO et LEPAGE (1989). Cette influence est due aux remontées de terre des horizons profonds, la création de galeries, la dégradation des débris végétaux, la dégradation de la surface du sol. Selon BOYER (1971), par la formation d'agrégats de déjection, les termites peuvent contribuer à la protection d'une partie de la matière organique contre la minéralisation rapide.

Cependant, il a été montré que la mise en exploitation du sol, par les variations des conditions du milieu qui en découlent, peut affecter la biomasse des invertébrés (AHLGREN et AHLGREN, 1965; AHLGREN, 1974; BLIC, 1976; GNAMBA, 1987; TANO et LEPAGE, 1989; GILOT *et al.*, 1995). Les perturbations subies par la faune du sol diffèrent selon le mode de préparation du sol et l'ampleur des modifications mécaniques qui en résultent (DECAENS *et al.* (1994).

Au vu de ces études, la faune du sol constitue donc un paramètre important à considérer dans l'analyse des facteurs de transformation des sols cultivés. Dans cette étude, un inventaire faunique est effectué dans les différentes situations étudiées en vue de déterminer, d'une part, l'effet des modes de préparation du sol sur la répartition de la macrofaune et, d'autre part, le rôle que l'on peut lui attribuer dans l'évolution des caractères du sol étudié.

La méthode d'inventaire est exposée au paragraphe consacré aux protocoles d'étude de ce chapitre.

Toutes les valeurs acquises sur l'inventaire fauniques sont inscrits en annexe II.1.7. Le bilan de l'inventaire, présenté dans le tableau II.1.19, montre que la densité des différentes macrofaunes, identifiées, varie d'un traitement à l'autre.

D'une manière générale, la densité de macrofaune est plus importante dans les horizons supérieurs (0-10 cm de profondeur) du sol et décroît en profondeur (Figure II.1.19). Cette baisse en profondeur est surtout marquée sous la parcelle témoin (F). Pour les parcelles expérimentales (TS, TL, SS, SL, MS et ML), cette décroissance en profondeur est plus graduelle et irrégulière.

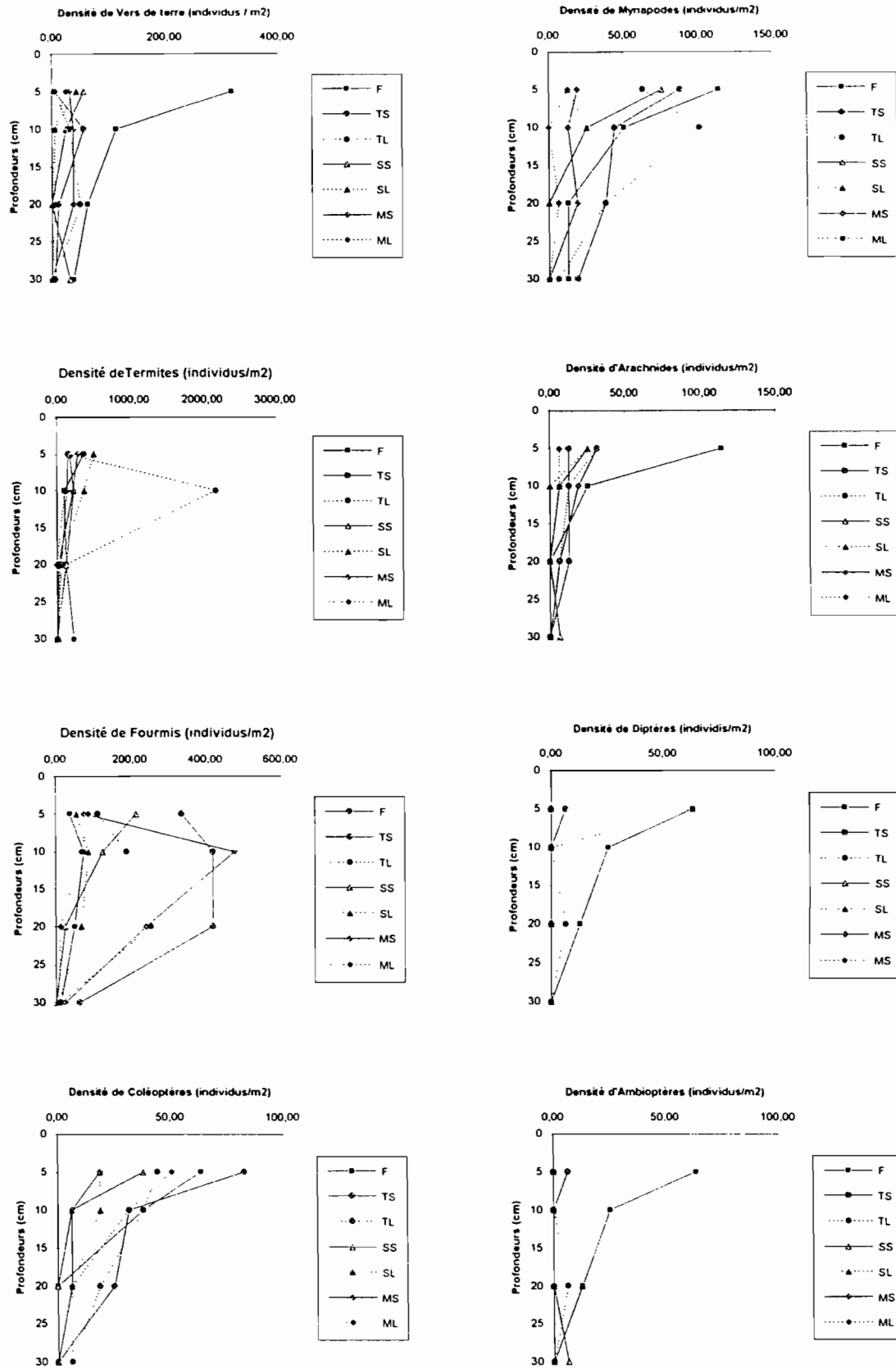


Figure II.1.6 : Répartition de la densité de macrofaunes (individus/m²) en fonction de la profondeur.

Tableau II.1.19 : Densité moyenne de macroinvertébrés (individus/m2) à partir de 10 sondages par parcelle sur 30 cm de profondeur

Types de faune	Témoins	TS	TI	SS	SL	MS	ML
Vers de terre	535 b <i>40</i>	83 a <i>11</i>	96 a <i>15</i>	115 a <i>15</i>	51 a <i>11</i>	108 a <i>15</i>	38 a <i>9</i>
Termites	854 a <i>86</i>	376 a <i>58</i>	2473 b <i>669</i>	554 a <i>94</i>	943 a <i>246</i>	548 a <i>123</i>	503 a <i>91</i>
Fourmis	179 a <i>23</i>	1242 b <i>135</i>	573 ab <i>74</i>	370 a <i>52</i>	223 a <i>35</i>	822 ab <i>108</i>	178 a <i>28</i>
Coléoptères	102a <i>12</i>	127 a <i>15</i>	108 a <i>15</i>	45 a <i>-</i>	45 a <i>10</i>	32 a <i>5</i>	96 a <i>13</i>
Myriapodes	191 ab <i>21</i>	134 ab <i>22</i>	210 b <i>29</i>	102 ab <i>24</i>	38 ab <i>9</i>	45 ab <i>7</i>	19 a <i>5</i>
Arachnides	140 b <i>22</i>	45 ab <i>8</i>	51 ab <i>9</i>	38 ab <i>5</i>	26 a <i>6</i>	57 ab <i>10</i>	13 a <i>3</i>
Diptères	102 b <i>12</i>	6 a <i>2</i>	6 a <i>2</i>	0 a <i>0</i>	64 ab <i>20</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Ambloptères	102 b <i>22</i>	6 a <i>2</i>	6 a <i>2</i>	6 a <i>2</i>	13 a <i>3</i>	6 a <i>2</i>	0 a <i>0</i>
Orthoptères	76 b <i>14</i>	6 a <i>2</i>	0 a <i>0</i>	6 a <i>2</i>	6 a <i>2</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Blattes	76 b <i>11</i>	6 a <i>2</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Diploures	127 b <i>16</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Mollusques	102 b <i>10</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Isopodes	38 b <i>9</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>	0 a <i>0</i>
Densité totale	2625 <i>298</i>	2032 <i>256</i>	3524 <i>816</i>	1236 <i>201</i>	1408 <i>343</i>	1618 <i>270</i>	847 <i>148</i>

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes d'après le test de comparaison de Bartlett au seuil de 5 %. Les chiffres en italique indiquent l'écart-type sur chaque moyenne. TS = Traditionnel sans labour, TI = Traditionnel Labour, SS = Semi mécanisé Sans labour, SL = Semi mécanisé avec Labour, MS = Mécanisé Sans labour, ML = Mécanisé Labour

Les effets de la mise en culture se manifestent ici par la disparition de plusieurs taxons de macroinvertébrés, surtout sur les parcelles à défrichement mécanisé (MS et ML). Ils se manifestent également par une baisse globale de la densité qui passe de 2626 ind./m², sous forêt, à 1778 ind./m² sur parcelles expérimentales, soit une baisse d'environ 30%. Cette baisse concerne les parcelles à défrichement semi mécanisé et mécanisé où la diminution va de 1007 à 1778 ind./m² et de 1217 à 1389 ind./m², dans l'ordre respectif. Les parcelles à défrichement traditionnel sans labour présentent une faible baisse de 593 ind./m². Celles avec labour superficiel accusent plutôt une croissance de 899 ind./m², par rapport à la forêt, à cause de l'abondance des termites.

La baisse de la densité de macrofaune, en particulier sur les parcelles mécanisées et semi mécanisées, peut être due à l'exportation totale de la végétation lors des opérations de défrichement et par conséquent au manque de nutriments et d'abri pour certains groupes d'invertébrés, comme les termites et les vers de terre.

La détermination (tableau II.1.20) des types de termites montrent que les espèces présents sous forêt sont différentes de celles des parcelles expérimentales. Les termites présents sous forêt sont surtout des *Cubitermes sp.* en dominance, des *Microtermes sp.*, des *Adathrotermes sp.*, *Pericapritermes sp.* tandis que celles des parcelles mises en culture sont les *Amitermes evuncifer* en dominance, les *Microtermes toumodiensis*, *Microtermes sp.*, des *Macrotermes bellicosus*, des *Acanthotermes acanthothorax*, *Nasutitermes latifrons*, *Anoplotermes sp.*, et des *Noditermes sp.*

Les nids épigés de termites observés sous forêt sont majoritairement ceux des *Cubitermes sp.*, tandis que ceux des parcelles expérimentales sont surtout des nids d'*Amitermes sp.* Les nids au sol sont les plus nombreux, pour toutes les situations confondues. Sur les parcelles traditionnelles (T), les nids localisés dans les souches de palmier à huile sont de loin les plus fournis en population. Pour les champignonnistes, un seul nid de *Macrotermes bellicosus*, d'apparition récente en surface, a été identifié.

Tableau II.1.20 : Répartition des nids de termites sur les parcelles expérimentales.

	Forêt	Parcelle Traditionnelle (T)	Parcelle Semi mécanisé (S)	Parcelle Mécanisé (M)
Nombre et types de nids de termite	6 nids de <i>Cubitermes sp.</i> au sol	- 2 nid d' <i>Amitermes sp.</i> au sol - 6 nids d' <i>Amitermes sp.</i> dans des souches de palmier à huile et d'arbre - 1 nid récent de <i>Macrotermes bellicosus</i>	- 2 nids d' <i>Amitermes sp.</i> au sol	- 3 nids d' <i>Amitermes sp.</i> au sol
Type de termite rencontré dans les sondages	<i>Cubitermes severus</i> <i>Cubitermes sp.</i> <i>Microtermes sp.</i> <i>Adaiphrotermes sp.</i> <i>Pericapritermes sp.</i> <i>Amitermes sp.</i>	<i>Amitermes evuncifer</i> <i>Amitermes sp.</i> <i>Microtermes toumodiensis</i> <i>Microtermes sp.</i> <i>Amphiditermes basidens</i> <i>Anoplotermes sp.</i> <i>Ancistrotermes crucifer</i> <i>Nanotermes latifrons</i> <i>Noditermes sp.</i> <i>Acanthotermes acanthothorax</i>	<i>Amitermes evuncifer</i> <i>Amitermes sp.</i> <i>Microtermes toumodiensis</i> <i>Microtermes sp.</i> <i>Amphiditermes basidens</i> <i>Anoplotermes sp.</i> <i>Ancistrotermes crucifer</i> <i>Noditermes sp.</i>	<i>Amitermes evuncifer</i> <i>Amitermes sp.</i> <i>Microtermes toumodiensis</i> <i>Microtermes sp.</i> <i>Anoplotermes sp.</i> <i>Ancistroterme s crucifer</i> <i>Noditermes sp.</i>

Sur les parcelles traditionnelles, la majorité des *Amitermes sp.* est localisée dans des souches d'arbre restées sur place. Pour les vers de terre, la baisse est essentiellement due à la disparition de la litière et à l'énudation qui expose la surface du sol à l'ensoleillement. Les espèces épigéniques ont disparu pour faire place à des espèces endogéniques. Aussi, certaines espèces de termites comme les *Cubitermes sp.*, *Adaiphrotermes sp.*, *Pericapritermes sp.* sont absentes des parcelles cultivées.

De même, d'autres présentes en grand nombre sur les parcelles mises en culture ne sont pas observées sous forêt. Ces constats vont dans le même sens que ceux de nombreux auteurs quant à la baisse et la spéciation de la macrofaune du sol selon la couverture végétale et l'utilisation du milieu (TANO et LEPAGE, 1989; LAVELLE et *al.*, 1992; GILOT et *al.*, 1995; STEFAN et GERTRUDE, 1996). Selon BACHELIER (1973), les populations de termites se modifient quand les conditions du milieu changent. Aussi, BODOT (1967) a expliqué qu'en Côte-d'Ivoire, une compétition interspécifique serait à l'origine de l'expansion des *Amitermes evuncifer* au détriment de *Cubitermes severus* suite au défrichement des forêts. L'effet du travail du sol, contrairement aux résultats de DECAENS et *al.* (1994) s'exprime peu. Cet écart peut être dû à la courte durée de nos expérimentations.

*

Il ressort de cet inventaire faunique, un effet de la mise en culture sur la répartition de la macrofaune du sol. Cette répartition, essentiellement influencée par le *mode de défrichement*, est marquée par:

- une baisse de la densité des macroinvertébrés surtout sur les parcelles mécanisées et semi mécanisé. Cette baisse est moindre sur parcelle traditionnelle sans labour.
- un accroissement de la densité sur parcelle à défrichement traditionnel avec labour superficiel montrant un effet positif de ce type de préparation de la parcelle vis à vis de la faune,
- la disparition de plusieurs taxons de macroinvertébrés, surtout, sur les parcelles mécanisées avec un labour profond (ML) où il n'existe plus que 6 taxons sur 13 dénombrés sous forêt.

Outre la baisse de la densité et la disparition de taxons, il existe une spéciation des espèces présentes vis à vis du milieu. Elle concerne surtout le groupe des termites et des vers de terre. Ainsi, les *Cubitermes sp.*, largement présents sous forêt, ont disparu pour faire place aux *Amitermes sp.* De même, les espèces épigéniques de vers de terre sont remplacées par des endogéniques sur les parcelles mise en culture.

5. CONCLUSION SUR L'APPROCHE A L'ECHELLE PARCELLAIRE

L'analyse des différentes données des paramètres physiques et chimiques du sol, d'une part, et des paramètres de production du maïs en fonction des traitements, d'autre part, fait ressortir les constats suivants (Tableau II.1.21) :

Tableau II.1.21 : Synthèse de l'influence des pratiques culturales (défrichement et travail du sol) sur les paramètres du sol et ceux de la plante au terme des quatre années d'expérimentation en 1994.

Effet des traitements	Paramètres du sol ou de la plante					
	Densité apparente (da)	Résistance à la pénétration (R)	instabilité structurale (IS)	Paramètres chimiques	Rendement	Enracinement
Effet du défrichement	T << S << M	pas d'effet	T << S < M	S < M << T	pas d'effet	pas d'effet
Effet du travail du sol	non déterminé	l et L < NT ^(*)	NT et l << L ^(*) Tl << SL < ML	pas d'effet	NT << l et L ^(*) ML < SL < Tl	NT < l et L ^(*) Tl < ML < SL

- Défrichement traditionnel : T, semi-mécanisé : S, mécanisé : M.

- Labours mécanisé profond : L, manuel peu profond : l ; non travail du sol : NT.

- << : différence significative ; < : différence indicative.

- (*): inégalités s'exprimant entre les parcelles labourées et non labourées sur chacun des types de défrichement considérés.

5. 1. POUR LES PARAMETRES DU SOL

D'une manière générale, la qualité des *paramètres physiques* du sol (densité apparente, résistance à la pénétration et la stabilité structurale) s'est dégradée de manière proportionnelle aux contraintes dues aux opérations de défrichement.

Ainsi de 1991 à 1994, la densité apparente, de l'ordre de 1,31 avant les défrichements en 1991, s'est accrue sur toutes les parcelles traditionnelles (T), semi-mécanisées (S) et mécanisées (M) dans l'ordre croissant de 1,5 % (T) < 4 % (S) < 6,5 % (M).

La résistance à la pénétration ne paraît pas être influencée par les techniques de défrichement mais par le travail du sol. Le labour profond ou superficiel permet de réduire la résistance à la pénétration de l'ordre de 1,5 à 2 fois par rapport à celle du sol non labouré. Cependant, il crée une

discontinuité verticale entre la couche superficielle, ameublie et moins résistante et la couche sous-jacente non remaniée et plus résistante.

L'effet du défrichement sur la stabilité de la structure du sol s'est manifesté de manière tardive à partir de la troisième année de culture (1993), avec un ordre croissant de dégradation de la structure de 23 % (T) < 71 % (S) < 79 % (M) (Tableau II.1.19). L'instabilité structurale apparaît près de 2 fois plus importante sur les parcelles défrichées partiellement ou totalement au bulldozer que sur les parcelles traditionnelles. L'instabilité de la structure s'accroît davantage avec le travail du sol. Entre les deux modes de travail du sol, la structure apparaît 2 fois moins stable sous l'effet du labour profond que sous le labour superficiel. Le défrichement traditionnel, suivi ou non de labour superficiel, permet une meilleure conservation de la stabilité structurale du sol.

Pour le cas des *paramètres chimiques*, les parcelles traditionnelles présentent un meilleur potentiel chimique, eu égard aux teneurs en bases échangeables, aux valeurs de pH plus élevées et aux plus faibles teneurs en aluminium échangeable, en comparaison de celui des parcelles semi-mécanisées ou mécanisées (cf. Chapitre II.II.2). La meilleure qualité de potentiel de fertilité du sol sous le système traditionnel, après quatre ans d'exploitation agricole, est due à l'apport en éléments minéraux contenus dans les cendres issues du brûlage de la biomasse végétale comme l'attestent de nombreuses études dont celles de NYE et GREENLAND (1964), FASSBENDER (1975), SEUBERT *et al.* (1977), BOYER (1978), ORIOLI et CURVETTO (1978), ELLIS et GRALEY (1983), STROMGAARD (1984), KYUMA *et al.* (1985). Ces éléments (bases échangeables, pH, aluminium échangeable) ne sont pas affectés par le travail du sol. Le carbone et l'azote ne sont influencés ni par le mode de défrichement ni par le travail du sol.

5. 2. POUR LA PRODUCTION

Il apparaît, au terme des quatre années de culture, un effet positif du labour sur la production du maïs ; la pratique du labour superficiel sur les parcelles traditionnelles étant largement plus avantageuse. Le rendement tend à varier dans le même sens que certains des paramètres physiques, en particulier la résistance à la pénétration, mais ne semble pas dépendre de l'état chimique ; puisque ce dernier n'est pas influencé par le travail du sol (Tableau II. 1.21). Cependant, à ce stade de notre étude, nous ne sommes pas en mesure de tirer des conclusions définitives sur ces écarts mis en évidence, les mesures étant faites de manière trop globale sans tenir compte de la variabilité spatiale des parcelles.

*

Il est en effet connu que le défrichement, surtout mécanisé, et la mise en culture des sols forestiers est souvent source d'hétérogénéité spatiale et, par conséquent, de comportement variable des cultures selon les transformations physiques et morphologiques issues des opérations de défrichement. L'approche à l'échelle de la parcelle globale apparaît insuffisante pour juger des conséquences réelles de l'impact de mise en culture sur le sol. Plusieurs lacunes rattachées à cette approche, entre autres l'échantillonnage trop global ne tenant pas compte de la variabilité spatiale et le nombre de répétitions assez limité (un échantillon composite de trois prises par parcelle) pour rendre compte de la valeur significative des paramètres observés, peuvent induire une grande variabilité des résultats ne permettant pas d'aboutir à des conclusions précises.

Au vu de ces limites et de cette échelle, il est hasardeux, , de tirer des conclusions quant au comportement du système. Aussi, sans nier cependant son utilité pour la suite de notre étude, cette analyse à l'échelle de la parcelle globale doit être acceptée à titre indicatif. Mais il s'avère nécessaire, pour aboutir à des conclusions plus précises concernant l'effet des traitements sur le sol et leurs conséquences sur le maïs, de poursuivre l'étude avec une stratification des observations en s'appuyant sur les éléments de différenciation de l'espace les plus caractéristiques. Cette approche implique successivement des échelles d'analyse plus fines. Celle-ci permet de travailler sur des matériaux plus homogènes et de considérer des paramètres de fonctionnement du sol, dépendant de transformations qui interviennent à des niveaux d'organisation fins du sol.

CHAPITRE 2

LES RESULTATS OBTENUS DE L'ECHELLE DES ZONES DE DIFFERENCIATION INTRAPARCELLAIRE

LES RESULTATS OBTENUS DE L'ECHELLE DES ZONES DE DIFFERENCIATION INTRAPARCEL-LAIRE

Il existe en général, après le défrichement, surtout mécanisé, un certain nombre de caractères d'hétérogénéité dus aux contraintes que subit la surface du sol (ALEGRE et *al.*, 1986; BOKA, 1986 ; GNAMBA, 1987 ; MITJA et VALENTIN, 1989 ; YORO, 1990), sous l'action des mouvements des machines lors des différentes tâches inhérentes au défrichement, (abattage des arbres, extirpation des racines, dégagement des décombres hors des parcelles). L'état de surface du sol, après le défrichement, conditionne souvent son évolution tant physique que chimique (SMITH, 1970 ; NISHITA et HAUG, 1972 ; BLIC, 1976 ; SEUBERT et *al.*, 1977 ; SANCHEZ et *al.*, 1983). La méconnaissance des conséquences diverses liées à cette hétérogénéité morphologique et l'absence de gestion adéquate du sol sous culture sont à l'origine de dégradations rapides des sols (VEIHMAYER, 1948 ; YORO, 1979 ; MOREAU, 1983 ; ROOSE, 1983 ; COLLINET, 1984 ; YORO et ASSA, 1986 ; CAMARA, 1987), poussant bien souvent à l'abandon des parcelles peu de temps après les défrichements (YORO, 1982).

Ce chapitre est consacré à l'étude des zones de différenciation intraparcellaire, marquant l'hétérogénéité des parcelles, induites par la mise en culture. Deux époques sont considérées : le résultat des opérations de défrichement, en 1991, et l'état d'hétérogénéité des parcelles après quatre années de culture en 1994. On caractérisera, sur les principales zones intraparcellaires définies, l'état du sol et la culture du maïs, en espérant améliorer la précision de nos conclusions par rapport à celles du chapitre précédent.

1. PROTOCOLES D'ETUDE

1. 1. PARAMETRES EDAPHIQUES

1. 1. 1. Caractérisation morphologique

La caractérisation morphologique concerne à la fois la cartographie des microreliefs issus du défrichement et celle des types de surfaces après 4 années de mise en culture.

Cartographie des microreliefs issus du défrichement

Pour identifier les microreliefs issus du défrichement, YORO et GODO (1990) ont découpé des mailles carrées de 0,80 m (distance entre deux billons consécutifs) de côté, à l'intérieur de chaque parcelle. L'hétérogénéité spatiale a été reportée sur une carte afin d'évaluer la proportion de chaque microrelief.

Sur les parcelles défrichées manuellement, les souches des arbres et de palmier à huile ont été cartographiées par le même procédé. Seules les grosses souches dont le diamètre à la base est supérieur à 0,50 m ont été prises en compte ; celles de diamètre inférieur étant éliminées pendant le défrichement.

Cette étude n'a concerné que les 9 parcelles non labourées à cause des contraintes liées au temps des conduites agricoles. En effet, la saison agricole de la région étant en cours, il fallait, tout de suite après le défrichement, passer aux labours puis aux semis du maïs. Néanmoins, l'échantillonnage est représentatif compte tenu de la disposition randomisée des parcelles. Ainsi, une parcelle sur deux a été étudiée au sein de chaque bloc.

Cartographie des types de surface après quatre années de mise en culture

La distinction des différents types de surfaces existant en 1994 a été basée principalement sur la couleur. D'autres critères comme les affleurements des éléments grossiers et la formation de croûtes n'étaient pas spécifiques à des zones données. La cartographie a été faite, comme dans le cas des microreliefs issus du défrichement, à partir de carrés de 0,80 m de côté sur six parcelles retenues pour la suite des investigations.

1. 1. 2. Paramètres analytiques

Pour ce qui concerne les paramètres analytiques, seuls la granulométrie de la terre fine, carbone, azote, pH et complexe d'échange ont été pris en compte. Les méthodes d'analyse sont les mêmes que celles utilisées à l'échelle de la parcelle globale (Cf. chapitre I. I).

1. 2. PARAMETRES AGRONOMIQUES

Les observations ont porté sur l'aspect des plants de maïs au stade de maturité. Deux types de plants (des plants vigoureux et des plants chétifs) ont été observés sur les parcelles. Pour confirmer ces observations, des mesures de diamètre et de hauteur ont été faites, d'une part sur des plants supposés vigoureux, et d'autre part sur des plants chétifs. Ces mesures ont été faites en 10 répétitions par type de plant. Ainsi, 10 plants apparemment vigoureux et 10 plants apparemment

chétifs ont eu leur diamètre (à la base) et leur hauteur (au collet) mesurés sur 18 parcelles lors du cycle cultural de 1993 et sur 6 parcelles représentatives des traitements en 1994.

Pour 1993, après les mesures de diamètre et de hauteur, ces plants ont été repérés sur le terrain, à l'aide d'un marquage, pour évaluer la relation existant, d'une part entre l'aspect végétatif et l'enracinement, et d'autre part entre l'état de développement des plants et le rendement. Une quantification des racines en fonction de la profondeur et une évaluation du poids de l'épis et de la tige ont été effectuées sur ces deux types de plants (plant chétif, plant vigoureux), en fin du cycle cultural.

2. EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PARAMETRES DU SOL

2. 1. RAPPELS SUR L'HETEROGENEITE DE LA SURFACE DU SOL IMMEDIATEMENT APRES LE DEFRICHEMENT

2. 1. 1. Effets du défrichement traditionnel sur la surface du sol

La surface du sol, après le défrichement traditionnel, est couverte de cendre et de débris végétaux (Planche 1). Elle n'a pas été morphologiquement affectée par les passages des travailleurs lors de l'abattage. Ainsi, seules les souches d'arbre restées en place constituent quelques contraintes pour la surface cultivable (Annexe II.2.1). La surface occupée par ces souches a été calculée. Les résultats sont groupés par catégories de souches (grosses, petites, souche de palmier à huile) dans le tableau II.2.1.

La surface occupée par les souches varie de 2797 cm² à 9190 cm² ; ce qui correspond à des taux d'occupation de 0,1 % à 0,5 %. Les souches de palmiers à huile possèdent, ici, la plus grande circonférence (179 cm). Leur présence indique, de façon implicite, l'âge relativement jeune de la forêt secondaire abattue (YORO et *al.*, 1995). Les souches identifiées sur l'ensemble des 3 parcelles traditionnelles couvrent environ 2 m² pour une surface totale de 600 m², soit un taux d'occupation de 0,3 %. Cette surface correspond seulement à 11 pieds de maïs perdus sur 3900. Selon YORO (1992), cette perte est insignifiante en agronomie et montre que le défrichement traditionnel n'a pas affecté la surface du sol cultivable. La faible proportion de surface occupée par les souches est d'ailleurs récupérable dans le cadre d'une mise en culture durable ; les souches se décomposant au fur et à mesure que la mise en culture continue. Elles jouent aussi un rôle important dans la reconstitution de la végétation ligneuse, lors d'une éventuelle mise en jachère, ceci grâce à la reprise

des rejets (MITJA et VALENTIN, 1989 ; DE ROUW, 1991), et à condition que la durée de mise en culture ne soit pas excessive.

2. 1. 2. Effets des défrichements semi-mécanisé et mécanisé

Immédiatement après les défrichements semi-mécanisé (S) et mécanisé (M), YORO et GODO (1990), et YORO (1992), ont mis en évidence quatre principaux types de microreliefs, créés par l'arrachage des arbres (Planche 1) ou les mouvements du bulldozer (A, B, AB, et BD, affectés des indices m (meuble), t (tassés) et/ou g (gravillonnaire)) (Annexe II.2.1).

Ces microreliefs sont libellés comme suit :

- A : microrelief constitué d'horizon A. Il est humifère, riche en débris végétaux et de couleur homogène ;
- AB: microrelief issu du mélange des horizons A et B. Il est de couleur hétérogène ;
- B: microrelief formé d'horizon minéral B ;
- BD: Surfaces décapées ou lissées par la lame du bulldozer. Elles sont de couleur homogène et peu humifères.

D'une façon générale, les microreliefs tassés (t) sont ceux qui portent les traces de chenilles du bulldozer. Les microreliefs meubles (m) se reconnaissent par leur forme semblable à des buttes ou à des billons. Les microreliefs gravillonnaires (g), se distinguent par la présence d'éléments grossiers visibles en surface.

2. 1. 2. 1. Taux d'occupation des microreliefs

Les taux d'occupation des microreliefs A, AB et B sont donnés en annexe II.2.2.

Les valeurs moyennes (Tableau II.2.2) montrent que le défrichement mécanisé (M) favorise le décapage et les modifications des horizons supérieurs qui se manifestent par l'apparition des microreliefs AB et B, occupant respectivement 24 % et 3 % de la surface du sol après le défrichement. Le défrichement semi-mécanisé permet de réduire ces effets en préservant 83 % (contre 73 % sur M) de l'ensemble des horizons superficiels humifères. Il se révèle donc comme une technique qui permet de diminuer la dégradation des sols couramment observée lors de la mise en culture (Moreau, 1983 ; Gnamba, 1987).

Cette relative conservation des couches superficielles lors du défrichement semi-mécanisé s'explique par l'abattage manuel, au préalable, du sous bois, qui facilite les manoeuvres du bulldozer et réduit ainsi ses mouvements. Elle est aussi due aux débris végétaux (feuilles, lianes, branchages)

qui jonchent le sol et lui évitent ainsi le contact direct des chenilles du bulldozer. Cette conservation se confirme au niveau de l'ensemble des microreliefs portant les traces de chenilles. En effet, seulement 41 % des microreliefs identifiés sur les parcelles S sont affectés par les marques du bulldozer contre 53 % sur les parcelles M.

Planche 1

Etat des parcelles selon le mode de défrichement



Photo 1 : Défrichement traditionnel. Surface du sol couverte de la végétation abattue



Photo 2 : Défrichement traditionnel. Surface du sol couverte de cendres après le brûlage



Photo 3 : Défrichement semi-mécanisé (S). Surface du sol bien protégée par les décombres issus de la coupe du sous-bois.



Photo 4 : Défrichement mécanisé (M). Surface du sol chamboulée après le passage du bulldozer.

Tableau II.2.1 : Surface du sol occupée par les souches après défrichement traditionnel (T)
(d'après Yoro, 1992).

Types de souches	T1		T2		T3	
	Nombre	Surface cm2)	Nombre	Surface cm2)	Nombre	Surface cm2)
Grosses	4	1221	6	1670	4	1113
Petites	25	2131	18	1127	28	1753
Palmier	1	2115	0	0	3	6324
Total	30	5467	24	2797	35	9190
urcentage de surface		0		0		0

Tableau II.2.2 : Taux d'occupation des types de microreliefs après défrichement semi-mécanisé et mécanisé (d'après Yoro, 1992).

	Parcelles semi-mécanisées (S)	Parcelles mécanisées (M)
A (%)	38	27
Am (%)	9	4
At (%)	25	27
Atg (%)	12	15
Total A (%)	84	73
AB (%)	5	6
ABg (%)	5	8
ABt (%)	2	7
ABtg (%)	2	3
ABm (%)	0	0
Total AB (%)	15	24
B (%)	0	1
Bt (%)	0	1
Btg (%)	0	0
BD (%)	0	1
Bg (%)	0	0
Total B (%)	0	3
Surface totale affectée par le bulldozer	41	53

A: microrelief constitué d'horizon A. Il est humifère, riche en débris végétaux et de couleur homogène

AB: microrelief issu du mélange d'horizon B. Il est de couleur hétérogène.

B: microrelief formé d'horizon minéral B.

BD: Surfaces décapées ou lissées par la lame du bulldozer. Elle est de couleur homogène et très peu humifère.

Les indices

m: microrelief remanié se présentant sous forme de butte ou billon.

t: microrelief portant les traces des chenilles du bulldozer.

g: microrelief gravillonnaire.

2. 1. 2. 2. Les caractéristiques chimiques des microreliefs

Tous les résultats d'analyses chimiques, effectuées sur des échantillons prélevés, d'une part dans chacun des microreliefs identifiés sur les parcelles semi-mécanisées (S) et mécanisées (M), et d'autre part sur des échantillons composites de trois prises élémentaires dans les 20 premiers cm du sol des parcelles traditionnelles, sont regroupés en annexe II.2.3.

Seules les caractéristiques analytiques des microreliefs A et AB, les plus importants sur les parcelles défrichées, sont présentées ici.

Les microreliefs A ont le même taux (25 %) d'*éléments fins* (A + Lf), quelle que soit leur origine. Il en est de même pour les AB (Figure II.2.1) dont le taux (30 %) est légèrement supérieur à celui des A. Mais ces valeurs (25 % et 30 %) des A et de AB ne sont pas significativement différentes (YORO et *al.* 1995).

La *teneur en carbone* des microreliefs A (27 mg/g de sol) est significativement supérieure à celle, 15 à 16 mg/g, des AB (Figure II.2.1). Il en est de même pour les *teneurs en azote* dont les valeurs sont de l'ordre de 2 mg/g sur les A et de 1,4 mg/g pour les AB.

Les valeurs du *taux de saturation* et celles du *pH* ne permettent pas, quel que soit le mode de défrichement, de distinguer les microreliefs A des AB.

Les déterminations faites sur les parcelles défrichées traditionnellement montrent que le taux d'*éléments fins* (A + Lf) des horizons superficiels (0-20 cm) des parcelles traditionnelles est peu différent (24 %) de celui des microreliefs A (Figure II.2.1). Les *teneurs en carbone* (23 mg/g de sol) et en azote (1,8 mg/g de sol) des parcelles traditionnelles apparaissent sensiblement inférieures à celles de A (27 mg/g de sol), mais sans différence significative (YORO et *al.*, 1995). Les valeurs du *taux de saturation* (77 %) et du *pH* (5,3) du sol, issu des parcelles traditionnelles, apparaissent relativement supérieures à celles des microreliefs A, ceci à cause de l'amélioration de ces paramètres, par les cendres issues du brûlis, sur ces parcelles traditionnelles.

Les similitudes des taux d'*éléments fins* et des *teneurs en carbone* et en azote entre les microreliefs A et l'horizon 0-20 cm des parcelles traditionnelles confirment l'origine superficielle de ces microreliefs A. Les AB, qui apparaissent plus pauvres en matière organique (carbone et Azote), intègrent, à la fois, du matériel d'origine superficiel et du matériel plus argileux et moins pourvu en matière organique d'origine profonde.

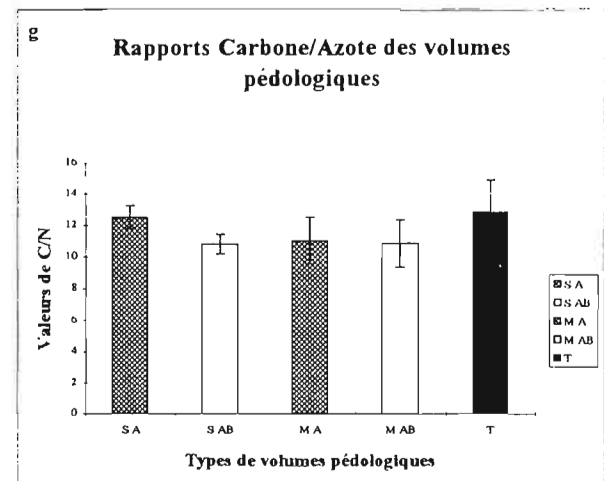
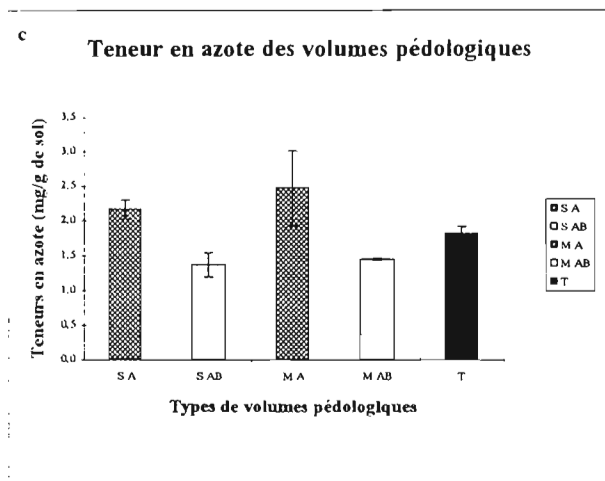
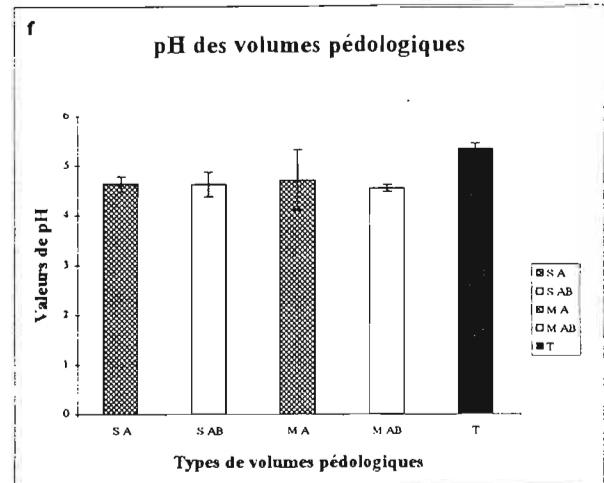
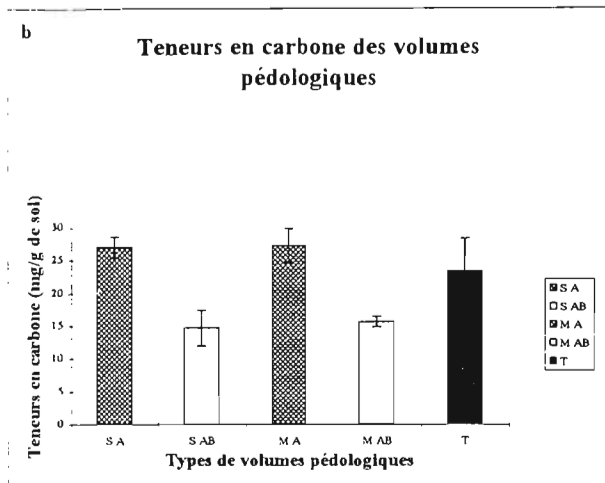
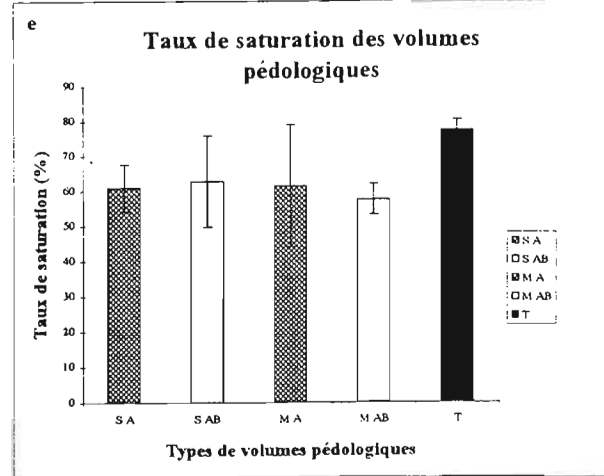
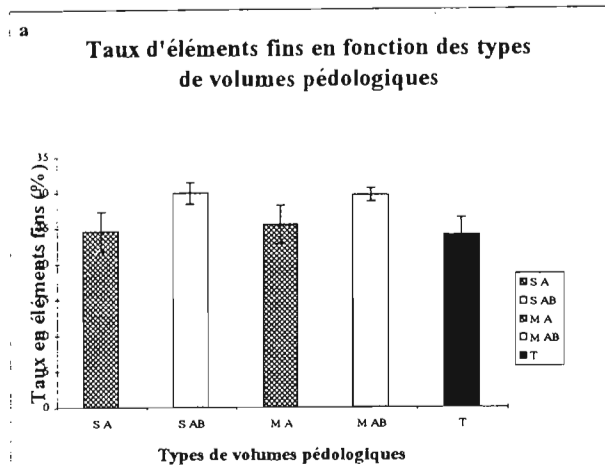


Figure II.2.1 : Quelques caractéristiques analytiques des volumes pédologiques, immédiatement après les défrichements

*

Contrairement au défrichement traditionnel qui préserve la totalité de la surface du sol, avec des caractéristiques physiques et un potentiel chimique satisfaisants (Cf. chapitre I. II.2) dans les 20 premiers cm du sol, et immédiatement après les opérations de défrichement suivies du brûlis, les modes de défrichement semi-mécanisé ou mécanisé ont engendré une hétérogénéité (microreliefs A et B) spatiale plus ou moins importante selon les cas. Le défrichement mécanisé (M) a plus favorisé l'apparition des types de microreliefs AB et B, par rapport au défrichement semi-mécanisé (S) qui a préservé 59 % des horizons superficiels du sol contre 47 % sur les parcelles mécanisées. L'hétérogénéité morphologique est à l'origine d'une hétérogénéité spatiale des caractéristiques chimiques du sol. Les microreliefs A, issus de l'horizon humifère, constituent des zones d'accumulation de matière organique (carbone et azote), tandis que les microreliefs AB, issus de mélanges de terre de profondeur avec du matériel de surface, et B d'origine profonde, sont plus pauvres en matière organique. Le pH et le complexe d'échange apparaissent peu affectés par l'hétérogénéité morphologique.

Nous retiendrons donc que le défrichement traditionnel (T) a eu, sur la surface du sol, des effets très différents de ceux du défrichement semi-mécanisé (S) ou mécanisé (M). Les variabilités morphologiques de la surface du sol constituent certainement les prémices de dégradations, surtout physiques (densité apparente, résistance à la pénétration, stabilité structurale), et plus importantes sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées avec le temps de mise en culture (Cf. chapitre I. II.1), comme l'attestent de nombreux travaux dont ceux de GNAMBA (1987), VEIHMAYER, 1948 ; ALEGRE et *al.* (1986), YORO et ASSA (1986), YORO (1979), COLLINET (1984), CAMARA (1987), sur l'évolution des microvariabilités engendrées par des défrichements mécanisés.

Tableau II.2.3 : Types de surface des parcelles semi-mécanisées et mécanisée sans labour (SS et MS) et labourées (SL, ML) en fin de campagne 1994.

Types		SS1	SS2	SS3	Moyennes	Ecart-type	MS1	MS2	MS3	Moyennes	Ecart-type
de surface		SS					MS				
A	Cases totales	210	249	291	250	41	200	257	291	249	46
	Surface totale (m2)	129	153	179	154	25	123	158	179	153	28
	Proportion (%)	64	76	90	77	13	61	79	90	77	14
B	Cases totales	116	77	34	75	41	126	68	34	76	46
	Compactées	8	0	0	3	5	27	0	20	16	14
	Surface totale (m2)	71	47	21	46	25	77	42	21	47	28
	Surface compactée (m2)	5	0	0	2	3	17	0	12	10	9
	Proportion (%)	36	24	10	23	13	39	21	10	23	14
	surface compacté (%)	2	0	0	1	1	8	0	6	5	4
		Semi-mécanisé labouré (SL)					Mécanisé labouré (ML)				
		(Moyenne)					(Moyenne)				
A	Cases totales	259					235				
	Surface totale (m2)	159					144				
	Proportion (%)	80					72				
B	Cases totales	67					91				
	Surface totale (m2)	41					56				
	Proportion (%)	20					28				

A : surfaces sombre, B : surfaces claires,

2. 2. HETEROGENEITE DES PARCELLES APRES QUATRE ANNEES DE PRATIQUES CULTURALES.

Au bout de quatre années de mise en culture, la surface du sol présente encore des caractères d'hétérogénéité sur les parcelles issues des défrichements semi-mécanisé et mécanisé. Elle est plane, mais laisse apparaître des plages de caractères morphologiques et de couleurs différents, avec des affleurements d'éléments grossiers de quartz et la formation de croûtes superficielles. Mais le critère de différenciation le plus discriminant est la couleur. Les différents types de surfaces sont exprimés en % de la surface totale de la parcelle, selon la méthode de cartographie appliquée par YORO (1992) pour les microreliefs issus des défrichements. Deux types de zones ont été ainsi définis. Ce sont (Annexe II.2.1) :

- *les zones A* : surfaces sombres (brun sombre 10 YR 3/3 à brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4), apparemment riches en matière organique. Ce sont des zones où, en général, le maïs se développe bien. Elles sont aussi bien couvertes de végétation d'adventices en dehors des cycles culturaux.

- *les zones B* : surfaces de teinte claire. (brun sombre jaunâtre 10 YR 4/6 à brun jaunâtre 10 YR 5/6). Elles sont souvent très graveleuses et présentent, par endroit, des surfaces encroûtées ou durcies. Ces zones B sont, contrairement aux surfaces A, peu couvertes d'adventices et présentent souvent un faible développement du maïs. Ces sont des surfaces de forme irrégulière et de dimension variable (de l'ordre de 2 à 30 m²) incluses dans les zones A.

2. 2. 1. Taux d'occupation des types de surface

Concernant l'occupation tant des zones sombres A que des zones claires B (Tableau II.2.3), il n'y a pas de différence significatives entre les deux types de parcelles. Dans les deux situations de défrichement semi-mécanisé (S) et mécanisé (M), le taux d'occupation des zones A varie de 61 % à 90 % et celui des zones B de 11 à 40 % et les valeurs moyennes, 77 % pour les zones A et 23 % pour les B, sont identiques sur les deux types de parcelles S et M.

La différence se situe au niveau de la présence de surfaces encroûtées ou durcies observées à l'intérieur des zones B. Ces surfaces encroûtées sont peu observées sur les parcelles semi-mécanisées (S), où elles représentent moins de 1 % de leur surface totale, soit seulement 4 % des zones B. En revanche, sur les parcelles mécanisées (M), ces zones encroûtées ou durcies sont plus abondantes, puisqu'elles occupent environ 5 % de la surface totale et 21 % des zones B. Cette observation traduit une plus forte dégradation du sol sur les parcelles mécanisées, résultant de la plus forte perturbation de la surface à l'issue des opérations de défrichement, comme nous l'avons vu précédemment au chapitre II. II.1.

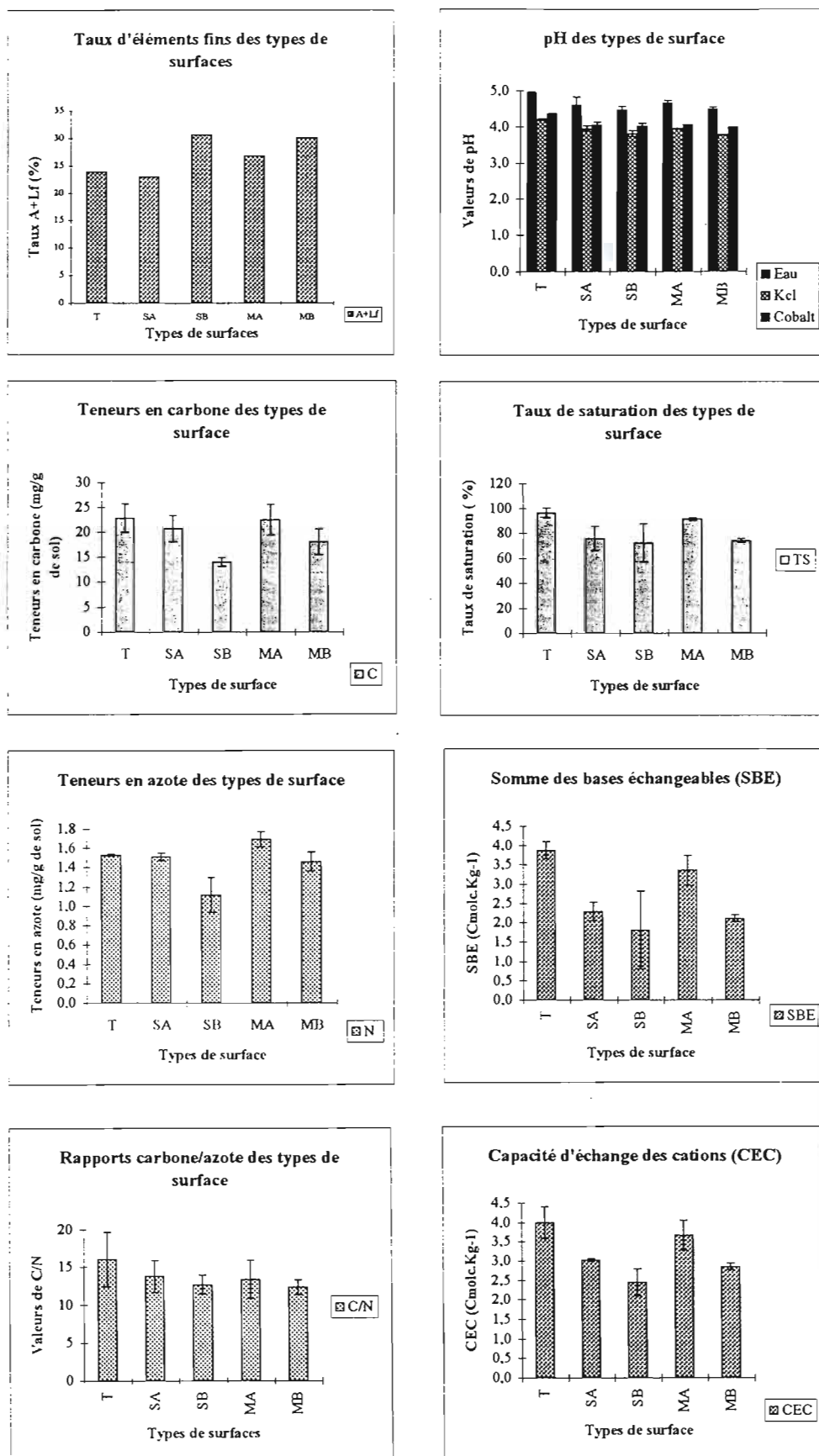


Figure II.2.2 : Caractéristiques analytiques des types de surface en 1994

Ces résultats montrent une réduction de l'hétérogénéité observée immédiatement après les défrichements. Après quatre ans de mise en culture, la surface du sol des parcelles ayant subi un défrichement partiellement mécanisé (S) et celle des parcelles entièrement défrichées au bulldozer (M) apparaissent presque identiques. Elles sont marquées par l'existence de deux types de zones. A sombres et B claires, d'occupations tout à fait comparables pour les deux systèmes de culture (77 % pour A et 23 % pour B).

Cependant, l'existence de zones dégradées (surface encroûtée ou durcie) sur les parcelles M montre que l'effet du défrichement, plus perturbateur, quoique masqué par les techniques culturales (sarclage, épandage des résidus de récolte et de sarclage à la surface du sol), persiste sur les parcelles (M) défrichées entièrement au bulldozer.

2. 2. 2. Caractéristiques analytiques du sol selon les types de surface A et B

Les résultats d'analyses chimiques effectuées sur des échantillons composites de 6 prises élémentaires par échantillon dans l'horizon 0-20 cm des différentes zones (A et B) sont inscrits en annexe II.2.4.

Pour les *taux d'éléments fins* ($A + Lf$) (Figure II.2.2), les zones A (27 %) des parcelles entièrement mécanisées (M) apparaissent plus riches en éléments fins que celles (23 %) des parcelles semi-mécanisées (S). Mais, dans tous les cas, ces zones A sont relativement moins pourvues en éléments fins que les zones B dont la teneur est de l'ordre de 30 % pour les deux systèmes.

L'analyse de variance effectuée sur les paramètres chimiques (Tableau II.2.4) montre qu'il n'y a pas de différence significative, entre les valeurs moyennes obtenues dans les zones sombres A et celles des zones claires B quel que soit le mode de défrichement, semi-mécanisé ou mécanisé. Cependant, il ressort des tendances (Figure II.2.2) montrant que, pour chacune des situations S et M et pour tous les éléments chimiques, les zones B ont les teneurs les plus faibles par rapport aux zones A.

Les zones sombres A posséderaient un meilleur potentiel de fertilité (carbone, azote, bases échangeables, capacité d'échange des cation) que les zones claires B.

Tableau II.2.4 : Paramètres de fertilité entre 0 et 20 cm du sol selon le type de surface après quatre années de culture en 1994.

		pH (eau)	Carbone (mg/g)	Azote	SBE	CEC (Cmolc.Kg-1)	Al3+
T		4,93 b <i>0,0</i>	22,8 b <i>2,0</i>	1,5 b <i>0,0</i>	4,0 b <i>0,2</i>	4,0 c <i>0,4</i>	0,2 a <i>0</i>
S	A	4,6 a <i>0,2</i>	20,8 b <i>1,9</i>	1,5 b <i>0,0</i>	2,3 ab <i>0,2</i>	3,0 abc <i>0,0</i>	0,3 a <i>0,1</i>
	B	4,48 a <i>0,1</i>	14,0 a <i>0,6</i>	1,1 a <i>0,1</i>	2,3 ab <i>1,0</i>	2,5 a <i>0,4</i>	0,3 a <i>0,1</i>
M	A	4,65 ab <i>0,1</i>	22,3 b <i>2,3</i>	1,7 b <i>0,1</i>	3,4 ab <i>0,4</i>	3,7 bc <i>0,4</i>	0,3 a <i>0</i>
	B	4,48 a <i>0,0</i>	18,1 ab <i>1,9</i>	1,5 b <i>0,1</i>	2,1 a <i>0,1</i>	2,9 ab <i>0,1</i>	0,6 b <i>0</i>
Probabilité		0,0495	0,0771	0,0169	0,1612	0,0665	0,0451

Pour chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls. Les chiffres en *italique* indiquent les écart-types sur les moyennes. N = 10 pour chaque paramètre. nd = non déterminé car une seule donnée.

T, S et M sont les modes de défrichement traditionnel, semi-mécanisé et mécanisé. A et B : types de surface.

Tableau II.2.5 : Comparaison de paramètres de fertilité du sol entre 0 et 20 cm de profondeur dans les microreliefs issus du défrichement en 1991 à ceux des types de surface après quatre années de culture en 1994.

		A + Lf (%)	pH (eau)	Carbone (mg/g)	Azote	SBE (Cmolc.Kg-1)	CEC
T		24,0 <i>2,4</i>	5,3 <i>0,1</i>	23,3 <i>5,0</i>	1,8 <i>0,1</i>	6,4 <i>1,1</i>	8,3 <i>1,6</i>
Microreliefs issus du défrichement en 1991	A	24,5 <i>2,8</i>	4,6 <i>0,2</i>	27,0 <i>1,6</i>	2,2 <i>0,1</i>	4,4 <i>nd</i>	7,2 <i>nd</i>
	AB	29,8 <i>1,5</i>	4,6 <i>0,3</i>	14,7 <i>2,7</i>	1,4 <i>0,2</i>	3,1 <i>nd</i>	4,8 <i>nd</i>
	A	25,4 <i>2,7</i>	4,7 <i>0,6</i>	27,2 <i>2,6</i>	2,5 <i>0,5</i>	4,5 <i>nd</i>	7,2 <i>nd</i>
	AB	29,6 <i>0,9</i>	4,5 <i>0,1</i>	15,6 <i>0,8</i>	1,4 <i>0,0</i>	4,0 <i>nd</i>	7,0 <i>nd</i>
-----		-----					
T		23,9 <i>nd</i>	4,9 <i>0,0</i>	22,8 <i>2,0</i>	1,5 <i>0,0</i>	4,0 <i>0,2</i>	4,0 <i>0,4</i>
Types de zones après quatre années de culture en 1994	A	23,0 <i>nd</i>	4,6 <i>0,2</i>	20,8 <i>1,9</i>	1,5 <i>0,0</i>	2,3 <i>0,2</i>	3,0 <i>0,0</i>
	B	30,6 <i>nd</i>	4,5 <i>0,1</i>	14,0 <i>0,6</i>	1,1 <i>0,1</i>	2,3 <i>1,0</i>	2,5 <i>0,4</i>
	A	26,8 <i>nd</i>	4,7 <i>0,1</i>	22,3 <i>2,3</i>	1,7 <i>0,1</i>	3,4 <i>0,4</i>	3,7 <i>0,4</i>
	B	30,1 <i>nd</i>	4,5 <i>0,0</i>	18,1 <i>1,9</i>	1,5 <i>0,1</i>	2,1 <i>0,1</i>	2,9 <i>0,1</i>

Les chiffres en *italique* indiquent les écart-types sur les moyennes. N = 2 répétitions pour chaque paramètre. nd = non déterminé car une seule donnée.

T, S et M sont les modes de défrichement traditionnel, semi-mécanisé et mécanisé.

A et AB : microreliefs

A et B : types de surface.

*

Ces zones sombres A sont à rapprocher des microreliefs A issus des défrichements (cf. Chapitre II. I). En effet, les teneurs en éléments fins (Tableau II.2.5) de ces zones A (23 %) sont peu différentes de celles des microreliefs A (25 %) observés immédiatement après le défrichement. Par contre, les teneurs en carbone, en azote, et en bases échangeables et les valeurs de pH sont inférieures à celles des microreliefs A. Ce qui implique que malgré les apports de fertilisants et de matières organiques par le biais des résidus de récoltes et de sarclages, le niveau de fertilité du sol baisse, même dans les zones non décapées au moment du défrichement. Le même constat est effectué pour les zones sombres B, qui s'affilient aux microreliefs AB de par leurs teneurs en éléments fins (A + Lf) et leur couleur plus claire. Cependant, il n'apparaît pas de correspondance étroite dans la répartition de ces zones A et B, délimitées après quatre années de culture, et celle des microreliefs A et AB issus des opérations de défrichement. Les pratiques culturales (sarclages successifs, apport de résidus de sarclage et des récoltes à la surface du sol) tendent à homogénéiser les états de surface issus du défrichement au fil du temps, au moins aux endroits où le sol se trouvait le moins profondément perturbé à la suite du défrichement.

La comparaison entre les caractéristiques analytiques des zones A et B et celles déterminées sur des échantillons composites de l'horizon 0-20 cm des parcelles traditionnelles (Tableau II.2.5 et Figure II.2.2) montre que la moyenne des teneurs en éléments fins des parcelles traditionnelles (24 %) est peu différente de celle (23 %) des zones A des parcelles semi-mécanisées. Celle des zones A des parcelles mécanisées (27 %) est supérieure. Le pH (4.9), les valeurs de la somme des bases échangeables (3,9 Cmol_c.Kg⁻¹), et la capacité d'échange des cations (4 Cmol_c.Kg⁻¹) des parcelles traditionnelles, apparaissent dans tous les cas supérieurs à ceux des zones A et B (Tableau II.2.4). Les teneurs en carbone (23 mg/g de sol) et en azote (1,5), quant à elles, sont peu différentes de celles des zones A.

Les paramètres de fertilité du sol des parcelles traditionnelles, évalués sur les 20 cm supérieurs du sol, restent donc (cf. Chapitre I. II.2) supérieurs à ceux des parcelles semi-mécanisées et mécanisées, même au niveau des zones sombres A de meilleur potentiel de fertilité sur ces parcelles S et M, après quatre années de mise en culture.

2. 3. CONCLUSION

Cette étude sur la zonation intraparcellaire montre que le caractère de couleur à la surface du sol est un bon critère, car il permet d'emblée de faire des prévisions sur les caractères de fertilité du sol dans ce type de sol ferrallitique.

Elle fait ressortir la persistance d'une hétérogénéité bien tranchée des parcelles, notamment celles ayant subi un défrichement partiellement ou totalement mécanisé. Au bout de quatre années de mise en culture, la variabilité spatiale, née des perturbations de la surface du sol (décapage, lissage, dessouchage, entassement) par le bulldozer, se trouve cependant atténuée. Il en reste des vestiges qui se résument en deux types de zones : A, sombres, riches en matière organique (carbone, azote), en bases échangeables et B, claires, plus argileuses et moins pourvues en éléments chimiques.

L'existence de ces deux types de zones a certainement eu un impact sur le comportement des cultures, notamment du maïs. En effet, il a été observé des plants à faible développement (plants chétifs) localisés, le plus souvent, dans des zones claires B contrastant avec des plants plus vigoureux des zones sombres A.

Une étude de l'influence des différentes zones A et B sur le développement des plants de maïs nous permettra de mieux préciser cet aspect.

3. CARACTERES DE DEVELOPPEMENT ET DE PRODUCTION DU MAIS

3. 1. TYPOLOGIE DES PLANTS DE MAIS ET INFLUENCE DES TRAITEMENTS SUR L'ASPECT VEGETATIF DES PLANTS DE MAIS

Dans cette étude, quelques paramètres phénologiques (diamètre, hauteur) sont mesurés pour apprécier quantitativement l'aspect végétatif du maïs. L'aspect végétatif constitue en effet un indicateur de développement de la culture, voire aussi de production et de prévision du rendement.

L'observation montre l'existence de deux principaux types de plants (chétif et vigoureux,) de maïs répartis de manière variable selon les traitements (Planche 2).

L'échantillonnage a permis d'obtenir au total 480 mesures de diamètre ou de hauteur sur des plants apparaissant chétifs (PC) et des plants vigoureux (PV) : 240 pour les vigoureux et 240 pour les chétifs. Les valeurs moyennes sont consignées dans les Tableaux II.2.6, II.2.7 et II.2.8.

Planche 2

Gestion des résidus de récolte.



Photo 1 : Résidus de récolte épandus à la surface du sol. Cas de parcelle semi-mécanisée sans labour (SS)



Photo 2 : Résidus de récolte incorporés dans le sol labouré et billonné

Aspect des
plants de maïs
selon les types
de zone



Photo 3 : Développement disparate des plants de maïs selon les types de zone; vigoureux dans les zones sombres A et chétifs dans les zones claires B



Photo 4 : Plants de maïs vigoureux sur parcelle labourée en profondeur. Cas d'une parcelle semi-mécanisée (SL)

Tableau II.2.6 : Comparaison des diamètres et hauteurs des plants de maïs entre les traitements

Traitements	Diamètre moyen (cm)	Hauteur moyenne (cm)
Plants vigoureux (PV)		
TS	2,1 a <i>0,4</i>	212,4 a <i>30,4</i>
SS	2,0 a <i>0,2</i>	227,2 ab <i>24,7</i>
MS	2,1 a <i>0,3</i>	229,3 b <i>27,4</i>
TL	2,2 b <i>0,3</i>	231,0 b <i>30,4</i>
SL	2,3 bc <i>0,2</i>	227,5 b <i>30,4</i>
ML	2,4 c <i>0,2</i>	223,5 ab <i>26,3</i>
Moyennes	2,2 <i>0,3</i>	225,1 <i>28,3</i>
CV %	11,6	12,6
P	0,0000	0,1756
Plants chétifs (PC)		
TS	1,0 <i>0,2</i>	137,0 a <i>25,7</i>
SS	1,1 b <i>0,3</i>	150,7 bc <i>31,0</i>
MS	1,1 a <i>0,2</i>	153,5 c <i>17,1</i>
TL	1,2 b <i>0,1</i>	156,6 c <i>18,3</i>
SL	1,2 bc <i>0,2</i>	139,2 ab <i>19,4</i>
ML	1,3 c <i>0,2</i>	157,2 c <i>25,1</i>
Moyennes	1,1 <i>0,2</i>	149,0 <i>22,8</i>
CV %	17,5	15,3
P	0,0000	0,0047

Pour chaque colonne et par type de pied, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de comparaison de Bonferoni. L'écart-type est inscrit en *italique* sous chaque moyenne. P = de validité du test d'inégalité des moyennes. CV = coefficient de variation. N = 240

Pour les traitements, les premières lettres (T. S. M) désignent le mode de défrichement et les secondes (S, L) le type de travail du sol : T : défrichement traditionnel, S : défrichement semi-mécanisé, M : défrichement mécanisé, S : sans labour, L : avec labour.

Les valeurs du diamètre et de la hauteur varient respectivement de 1 à 2,4 cm et de 137 à 231 cm (Tableau II.2.6). Elles sont, dans l'ensemble, comparables à celles mesurées par GODO (communication personnelle) sur un site d'étude voisin. Ceci indique que les valeurs se situent dans des dimensions moyennes normales des plants de maïs, issus de la variété testée sur le site.

L'analyse statistique confirme une différence significative entre les paramètres phénologiques (diamètre, hauteur) des plants vigoureux et ceux des plants chétifs (Tableau II.2.6). Le diamètre des plants vigoureux est 2 fois supérieur à celui des plants chétifs et la hauteur l'est 1,5 fois.

Tableau II.2.7: Comparaison de diamètre et hauteur des plants de maïs des différents modes de défrichement.

Paramètres mesurés	T	S	M	Moy	CV %	P
Diamètre (cm)	1,6 a <i>0,6</i>	1,7 a <i>0,5</i>	1,7 a <i>0,6</i>	1,7 <i>0,6</i>	34,6	0,4576
Hauteur (cm)	184,3 a <i>44,3</i>	186,1 a <i>45,4</i>	190,9 a <i>44,5</i>	187,1 <i>44,7</i>	23,9	0,4800

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de comparaison de Bonferroni. L'écart-type est inscrit en italique sous chaque moyenne.

Le mode de défrichement (Tableau II.2.7) n'a pas d'effet significatif sur le diamètre et la hauteur des plants.

Tableau II.2.8: Comparaison de diamètre et hauteur des plants de maïs des différents modes de travail du sol.

Paramètres mesurés	sans labour (S)	labour (L)	Moy	CV %	P
Diamètre (cm)	1,5 a <i>0,6</i>	1,8 b <i>0,5</i>	1,6 <i>0,6</i>	34,2	0,0000
Hauteur (cm)	185,0 a <i>45,0</i>	189,2 a <i>44,2</i>	187,1 <i>44,1</i>	23,9	0,3754

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de comparaison de Bonferroni. L'écart-type est inscrit en italique sous chaque moyenne.

Le diamètre apparaît en relation avec le mode de travail du sol (Tableaux II.2.6 et II.2.8). Ainsi, le diamètre des plants vigoureux est plus grand sur les parcelles labourées que sur les parcelles non labourées. Il varie de 2,2 à 2,4 cm sur les labourées et de 2 à 2,1 cm sur les parcelles sans labour avec une différence significative de 0,3 cm. (Tableau II.2.6). La différence est de même ordre pour les plants chétifs, dont les valeurs moyennes oscillent autour de 1 cm sur les parcelles

sans labour et entre 1,2 et 1,3 pour les parcelles labourées. Le travail du sol n'a pas d'influence significative sur la hauteur des plants de maïs (Tableau II.2.8).

Il ressort donc, de ces analyses de résultats, que seul le diamètre est influencé par le travail du sol, mais n'apparaît pas lié au mode de défrichement. Les pratiques culturales (défrichement et travail du sol) n'ont pas d'effet sur la hauteur.

Il convient tout de même d'observer ces résultats avec réserve, étant donné que toutes les parcelles n'ont pas le même taux de levée au départ (Tableau II.2.9). En effet, les parcelles semi-mécanisées et mécanisées avec labour (SL) et (ML), qui renferment les plants les plus vigoureux (diamètre et hauteur), possèdent les plus faibles taux de levée, 54 % pour ML et 65 % pour SL (Tableau II.2.9). Ces faibles taux de levée pourraient expliquer en partie la vigueur remarquable des plants de maïs sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées. Les plants, étant moins en compétition les uns avec les autres, ont pu se développer correctement. Ainsi, sur ces parcelles, 54 % à 72 % des plants de maïs présents sont vigoureux contre 28 % à 46 % de plants chétifs.

Tableau II.2.9 : Taux de levée et taux d'occupation des deux types de plants (PC et PV) du maïs de 1993 à 1994 selon les traitements.

Traitements	Taux de levée (%) *	Taux d'occupation PC (%)	Taux d'occupation PV (%)
TS	70 <i>4</i>	69 <i>12</i>	31 <i>12</i>
TL	78 <i>7</i>	24 <i>6</i>	76 <i>6</i>
SS	71 <i>4</i>	55 <i>19</i>	45 <i>15</i>
SL	65 <i>15</i>	46 <i>24</i>	54 <i>17</i>
MS	73 <i>6</i>	55 <i>12</i>	45 <i>5</i>
ML	54 <i>28</i>	28 <i>6</i>	72 <i>39</i>

* Le taux de levée concerne la parcelle totale sans distinction de types de plants, pour une densité de semis = 1300/200 m². Chaque traitement est en trois répétitions. Les taux d'occupation sont des moyennes obtenues sur trois parcelles par traitement et par type de plant. Ils représentent la proportion de surface de la parcelle occupée par les types de plants de maïs. Les écart-types sont inscrits en *italique*

Cependant, les parcelles traditionnelles avec un labour superficiel (tl), qui possèdent le meilleur taux de levée (78 %), ont des plants vigoureux (2,2 cm de diamètre) peu différents de ceux des parcelles semi-mécanisées (SL) et mécanisées (ML) (Tableau II.2.6). En plus, sur ces parcelles traditionnelles labourées (tl), environ 76 % des plants sont vigoureux contre 24 % de chétifs (Tableau II.2.9). Ceci nous amène à penser que d'autres facteurs, tels que le meilleur potentiel de paramètres de fertilité chimique (Cf. Chapitre I. II.2) ont dû jouer en faveur du développement des plants de maïs sur les parcelles traditionnelles. Quant au cas des parcelles mécanisées, nous retenons

comme facteur, à l'avantage de la vigueur des plants, le faible taux de levée (faible densité de plants de maïs sur ces parcelles) et donc la faible compétition entre les plants présents.

En revanche, les parcelles traditionnelles sans labour (TS), également à fort taux de levée (70 %), ont les plants les plus chétifs (1 cm de diamètre). Ces parcelles TS se caractérisent également par la présence d'une forte proportion de plants chétifs ; 69 % de plants chétifs contre 31 % de vigoureux. Ceci confirme davantage l'influence du travail du sol sur la répartition des plants vigoureux et des plants chétifs. Contrairement aux résultats de l'IITA (1979) sur des sols ferrallitiques forestiers au Nigeria, les parcelles traditionnelles labourées à la houe (tl) seraient plus performantes que les autres parcelles, eu égard, à la fois, à leur fort taux de levée et à l'aspect vigoureux des plants.

*

Cette étude montre que les paramètres (diamètre, hauteur) choisis sont de bons critères de distinction entre plants vigoureux et plants chétifs de maïs. Le diamètre des plants vigoureux est 2 fois supérieur à celui des plants chétifs. De même la hauteur des plants vigoureux est 1,5 fois plus grande que celle des plants chétifs.

Pour ce qui est des relations entre traitements et aspect des plants, la hauteur n'apparaît pas être un bon critère de distinction de l'effet des pratiques culturales. En revanche, le diamètre est sensible au mode de travail du sol. Ainsi, pour un type de défrichement donné, les plants sont significativement (1,2 fois) plus vigoureux sur les parcelles labourées que sur les parcelles non labourées.

Il ressort que le traitement défrichement traditionnel avec le labour superficiel à la houe (tl), qui présente à la fois le plus fort taux de levée (78 %) et des plants vigoureux (2,2 cm de diamètre), se révèle comme la technique culturale la mieux adaptée pour le développement des plants du maïs. En deuxième position, se trouvent les parcelles semi-mécanisées labourées à 30 cm de profondeur au tracteur (SL). Les parcelles entièrement défrichées au bulldozer (ML) et labourées également au tracteur (30 cm) apparaissent moins performantes à cause du très faible taux de levée dont les causes restent à expliquer.

3. 2. REPARTITION INTRAPARCELLAIRE DES TYPES DE PLANTS DE MAÏS SELON LES ZONES A ET B

Outre l'effet du travail du sol, l'étude de la répartition des types de plants de maïs en fonction de l'état de surface du sol montre (Annexe II.2.1 et II.2.5) qu'il existe une influence importante des types de zones A ou B sur le développement des plants de maïs. On observe que, sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées non labourées, environ 72 % et 67 % des plants de maïs présents dans les zones claires B sont chétifs (Tableau II.2.10). La proportion des plants chétifs dans les zones sombres A demeure encore importante (50 % des plants de maïs présents dans ces zones A) et confirme ainsi l'effet défavorable du non labour sur le développement du maïs.

Tableau II.2.10 : Répartition des types de plants de maïs selon les états de surface

Traitements	Zones	<i>proportion de plants chétifs PC (%)</i>		<i>proportion de plants vigoureux PV (%)</i>	
		Par rapport à la zone	Par rapport à la parcelle totale	Par rapport à la zone	Par rapport à la parcelle totale
TS			69		31
TL			24		76
SS	A	50	71	50	87
	B	72	29	27	13
SL	A	50*	87	50	73
	B	29	13	71	27
MS	A	49	69	51	86
	B	67	31	33	14
ML	A	22	64	78	88
	B	55	36	45	12

A : zone sombre. B : zone claire

* 25 % des PC sont le fait de l'ombrage.

Cette zonation des plants chétifs, préférentiellement liés à la présence des zones claires B peu fertiles, est atténuée sur les parcelles labourées (SL) du bloc semi-mécanisé, où seulement 29 % des plants observés dans les zones claires B sont chétifs (Tableau II.2.10). Ceci confirme l'effet positif du labour sur le développement du maïs ; celui-ci étant amélioré de plus de 2 fois par la pratique du labour profond dans ces zones claires B sur les parcelles SL. Toutefois, la répartition des types de plants, sur ces parcelles SL, a été fortement influencée par la disposition de ces parcelles SL en

bordure du bloc expérimental. Elles ont ainsi subi, nous l'avons constaté sur le terrain, un effet de l'ombrage dû à la proximité de la forêt témoin. Cet effet de l'ombrage peut être une cause de la forte proportion de pieds chétifs de maïs, dans les zones sombres A, malgré leur meilleur potentiel de fertilité. Environ 25 % des plants chétifs localisés dans les zones A ont été le fait de l'ombrage. Il est connu que le maïs, étant une plante héliophile, a besoin d'un éclaircissement important pour sa croissance (Photosynthèse).

Contrairement au cas des parcelles semi-mécanisées, le labour profond, sur les parcelles mécanisées (ML), n'a pas permis de réduire l'influence des zones claires dans la répartition des types de plants de maïs. 55% des plants localisés dans les zones claires B de ces parcelles ML sont chétifs. Le labour n'a donc pas permis d'améliorer la qualité agronomique des zones, dégradées pendant le défrichement entièrement réalisé au bulldozer. En revanche, le développement du maïs est largement favorisé dans les zones sombres A, par le labour profond; la proportion de plants chétifs étant réduite de plus de 2 fois (Tableau II.2.10).

Le sol non labouré apparaît donc, d'une manière générale, peu propice à la croissance du maïs, mais l'est encore davantage lorsqu'il présente des signes de dégradation matérialisés par l'existence de zones claires B, peu riches en paramètres de fertilité. Les résultats différents, obtenus dans les situations de labour, laissent entrevoir une influence de la structure du sol sur la croissance du maïs. Cette hypothèse qui mérite des vérifications ne pourra être admise qu'après examen de l'aspect des profils culturaux.

3. 3. RELATION ENTRE L'ASPECT DES PARTIES AERIENNES, L'ENRACINEMENT ET LA PRODUCTION

L'évaluation des racines dans les 30 premiers centimètres du sol (Cf. 1.1) et des poids de l'épi et de la tige à la récolte, pour un même pied de maïs a été effectuée pour chacun des deux types de plants (chétif, vigoureux) de maïs, d'après un échantillonnage composite (trois prises élémentaires) en trois répétitions. Cet échantillonnage concerne les types de plants repérés lors de l'évaluation de l'aspect végétatif du maïs (cf. chapitre 2. 3.1). Les paramètres poids des racines, hauteur, diamètre, poids de l'épi et de la tige, sont déterminés, pour chaque pied de maïs retenu, en vue de l'évaluation des relations existant entre l'enracinement, l'aspect végétatif et la production. Les valeurs moyennes calculées à partir de 72 mesures par paramètres, pour les deux années 1993 et 1994, sont regroupées en annexe II.2.6.

Les *poids des racines des plants vigoureux sont significativement supérieurs (de l'ordre de 1,5 à 7 fois) à celui des plants chétifs* (Tableau II.2.11). L'écart est surtout marqué sur les parcelles traditionnelles et les mécanisées sans labour, où le rapport PV/PC est de l'ordre de 8 et 7. Les parcelles traditionnelles avec un labour superficiel (tl) présentent la plus faible valeur (1,7) du rapport PV/PC. Dans l'ensemble, les PV possèdent 4 fois plus de racines que les PC pour tous les traitements confondus (Tableau II.2.11). Pour ce qui est de l'effet des traitements, l'enracinement n'est pas influencé par le mode de défrichement, quel que soit le type de plant, comme nous l'avons constaté au niveau de la parcelle globale (cf. Chapitre I. III.2). Cependant, le travail du sol a un impact significatif sur l'enracinement des plants chétifs, qui apparaît, pour tous les modes de défrichement, plus développé (plus de 3 fois) sur les parcelles labourées que sur les parcelles non labourées (Tableau II.2.12). Pour les plants vigoureux, le poids des racines n'apparaît pas être significativement influencé par le mode de travail du sol.

Pour *la production*, les valeurs (Tableau II.2.11) montrent que le poids moyen des épis PV est significativement (de l'ordre de 3 fois) supérieur à celui des épis PC ; indiquant ainsi que *l'aspect végétatif a bel et bien une influence sur la production*. Entre les traitements, le poids moyen de l'épi (187 g), évalué sur les parcelles traditionnelles, labourées superficiellement à la houe, (tl) est significativement (1,5 fois) supérieur à celui des parcelles semi-mécanisées (SL) ou mécanisées (ML) labourées au tracteur ; les poids de l'épi de ces deux types de parcelles ML et SL sont semblables pour ce qui concerne les plants vigoureux de maïs. Il n'apparaît pas d'effet des traitements sur la production des plants chétifs. Quoique les valeurs sur les parcelles labourées apparaissent toujours supérieures, les différences ne sont pas significatives. Le poids de la tige n'est pas influencé par les traitements, quel que soit le type de plant. Ainsi, seul le poids des épis des plans vigoureux, sur des parcelles traditionnelles labourées, (tl) se démarque significativement de celui des autres. Ceci justifie la production dominante sur ces parcelles traditionnelles (tl), eu égard, à la fois au poids de l'épi, à l'abondance des plants vigoureux (76 %) et au taux de levée plus important (78 %).

Une cause possible de la différence de production entre les parcelles semi-mécanisées (SL) et les parcelles mécanisées (ML) labourées, à l'avantage des parcelles SL, est la différence de taux de levée ; celui-ci étant légèrement supérieur sur les parcelles SL.

Par ailleurs, l'étude des régressions linéaires montre que la hauteur, le diamètre des plants de maïs et le poids de la tige ou de l'épi sont fortement corrélés au poids des racines (Figure II.2.3). Les deux types de plants (PC et PV) obéissent à la même équation pour chaque couple de paramètres considérés.

Tableau II.2.11 : Poids de racines (0-30 cm du sol) , de tige et de l'épi des plants chétifs (PC) ou de plants vigoureux (PV) de maïs de 1993 à 1994.

	Poids de racines (g/100g de sol)		Poids (en g)			
	Racines (PC)	Racines (PV)	Tige (PC)	Tige (PV)	Epis (PC)	Epis (PV)
TS	0,60 a <i>0,01</i>	0,49 a <i>0,25</i>	36,53 a <i>7,73</i>	89,53 a <i>15,91</i>	32,35 a <i>10,71</i>	110,33 a <i>36,98</i>
SS	0,10 a <i>0,07</i>	0,37 a <i>0,18</i>	45,45 ab <i>10,60</i>	78,25 a <i>20,79</i>	30,55 a <i>11,51</i>	78,61 a <i>14,48</i>
MS	0,09 a <i>0,05</i>	0,65 ab <i>0,61</i>	43,34 ab <i>7,27</i>	108,25 a <i>34,02</i>	29,21 a <i>11,29</i>	93,61 a <i>30,74</i>
TL	0,26 b <i>0,11</i>	0,44 a <i>0,18</i>	56,87 b <i>12,39</i>	95,22 a <i>22,32</i>	46,49 a <i>3,56</i>	187,15 b <i>40,14</i>
SL	0,22 ab <i>0,06</i>	1,24 b <i>0,89</i>	38,28 a <i>9,12</i>	93,12 a <i>9,10</i>	40,45 a <i>28,16</i>	124,71 a <i>26,62</i>
ML	0,23ab <i>0,09</i>	0,86 ab <i>0,14</i>	48,80 ab <i>5,59</i>	119,16 a <i>35,60</i>	34,29 a <i>4,85</i>	126,07 a <i>29,66</i>
Moyennes	0,16 <i>0,07</i>	0,67 <i>0,38</i>	44,87 <i>8,78</i>	97,25 <i>22,96</i>	35,56 <i>11,68</i>	120,08 <i>29,77</i>
Probabilité	0,0010	0,1074	0,1495	0,4496	0,6601	0,0159

Pour chaque colonne (case des traitements), les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par le test de Newman-Keuls, N = 72 pour chaque paramètre. Les écart-types sont inscrits en *italique*.

Tableau II.2.12 : Poids de racines (0 - 30 cm) du maïs selon le type de pieds et effet du mode de travail du sol de 1993 à 1994.

	Sans labour	Labour	Moyennes	P
Pieds chétifs (PC)	0.08 a <i>0,01</i>	0.24 b <i>0,01</i>	0,16 <i>0,01</i>	0,0001
Pieds vigoureux (PV)	0.50 a <i>0,036</i>	0.85 a <i>0,050</i>	0,67 <i>0,043</i>	0,0850

Pour chaque ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de comparaison Newman-Keuls, N = 72. Les écart-types sont inscrits en *italique*.

Cette évaluation du poids de l'épi ou de la tige montre que les plants chétifs- eu égard à leur aspect végétatif-, et ayant un faible développement racinaire, ont la plus faible production. Il existe une relation étroite entre le développement des parties aériennes, celui des racines et le rendement du maïs. Cette étude montre ainsi que l'aspect végétatif constitue bel et bien un critère valable de prévision de rendement pour la variété de maïs cultivé sur le site IBSRAM de Bécédi.

4. CONCLUSION

Cette étude sur la zonation intraparcellaire a révélé la persistance d'une hétérogénéité, héritée des microreliefs issus des opérations de défrichement semi-mécanisé (S) et mécanisé (M), à la surface du sol même, et après quatre années de pratiques culturales (semis, sarclage, et / ou labour, épandage des résidus de récolte à la surface du sol ou incorporés dans le sol, pour les parcelles labourées). Cette hétérogénéité se caractérise par l'existence de deux types de zones : les zones sombres A dominantes et relativement plus riches d'après les paramètres de fertilité du sol (carbone, azote, pH, et bases échangeables) et des plages de zones claires B discontinues, moins fertiles. La proportion de surface occupée par ces deux types de zone A (77 %) et B (23 %) est semblable dans les deux cas de défrichement S et M. Cependant, une différence de dégradation des zones B, plus importante sur les parcelles entièrement défrichées au bulldozer (M), relève de l'impact plus profond de ce mode de défrichement sur les caractères morphologiques du sol.

En outre, ces zones A et B définissent, sur les parcelles, des disparités dans le développement du maïs. Le maïs des zones claires B se développe moins bien que celui des zones sombres A ; car les plants de maïs dans les zones B sont à dominance (67 à 72 %) de plants chétifs (faible diamètre : 1,1 cm et de faible hauteur : 149 cm) et ceux des zones A, de plants vigoureux (2,2 cm de diamètre et 225 cm de hauteur) (Tableau II.2.10).

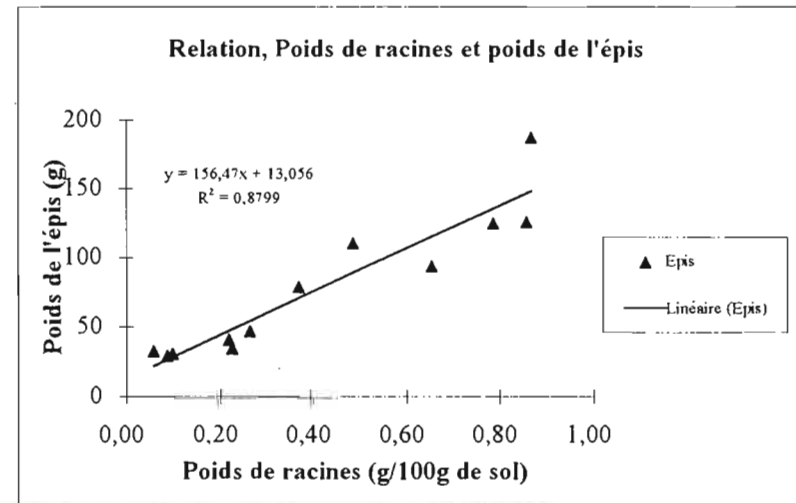
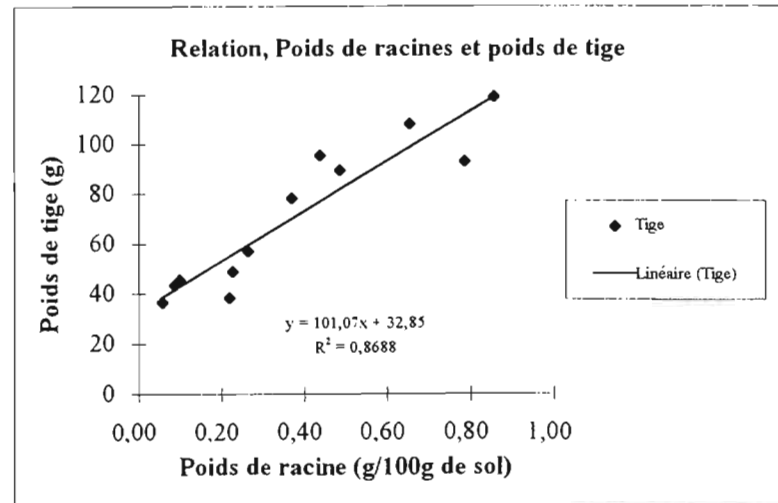
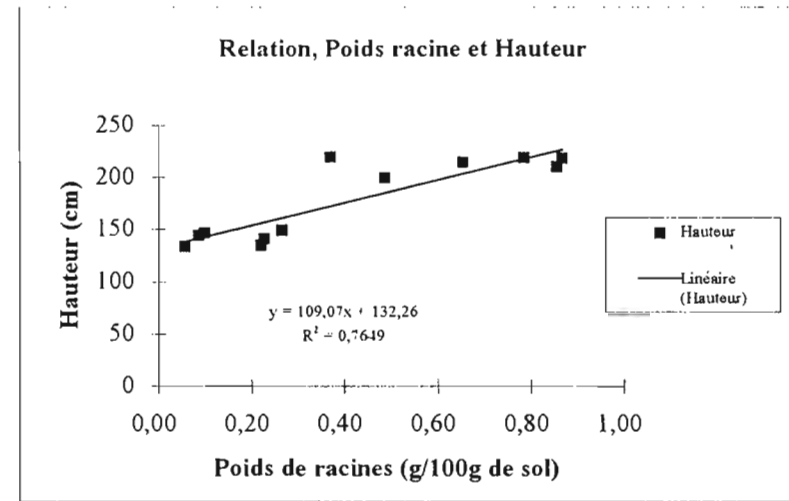
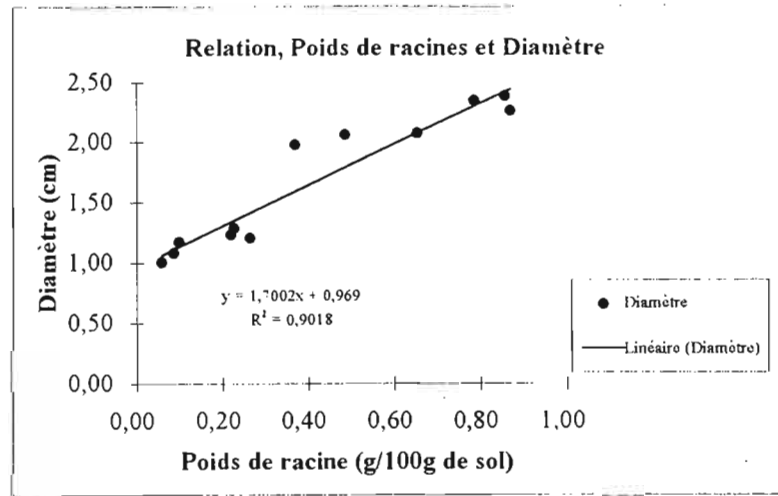


Figure II.2.3 : Relations entre l'enracinement, l'aspect végétatif et la production du maïs

Par ailleurs, les tests de comparaison et les études de régression linéaire, effectués sur différents paramètres de développement et de production de la plante, montrent qu'il existe un lien étroit entre le développement des parties souterraines (racines), l'aspect des parties aériennes et le rendement du maïs. Ceci explique le faible rendement sur toutes les parcelles non labourées, où les plants de maïs chétrifs sont dominants.

Le faible développement des plants de maïs est probablement dû, non seulement au faible potentiel de fertilité chimique, mais surtout, à des qualités médiocres des paramètres physiques (forte cohésion, forte résistance à la pénétration souvent supérieur à 10 kg/cm² dès 15 cm de profondeur), souvent liées aux zones dégradées lors des défrichements mécanisés (BOKA 1986, GNAMBA 1987 ; YORO 1984, 1990 ; CALIMAN, 1990), et qui caractérisent aussi l'ensemble des parcelles non labourées. La faible proportion de plants chétrifs sur les parcelles labourées conforte cette hypothèse sur l'influence des paramètres physiques du sol sur le développement des plants de maïs. Cependant, cette hypothèse mérite d'être vérifiée par l'étude détaillée des profils culturaux des différentes situations.

Une autre question qui demeure et qui mérite des éclaircissements est la différence des taux de levée entre les traitements observés tous les ans. Nous passons plusieurs hypothèses en revue.

La qualité de la semence ne peut être une cause de mauvaise levée car la semence provient d'une même sélection pour tous les traitements, et les semis ont été effectués le même jour sur toutes les parcelles avec la même densité de semis (1300/200 m²).

Pour ce qui concerne les potentiels de fertilité chimique (cf. Chapitre I. II.2), s'il s'est avéré que les parcelles traditionnelles présentent une meilleure fertilité, eu égard aux apports en éléments minéraux par les cendres à l'issue du brûlis, il ne s'est pas révélé de différence entre les paramètres de fertilité des parcelles labourées et ceux des parcelles non labourées issues des défrichements semi-mécanisés et mécanisés. Pourtant, ces dernières présentent les meilleurs taux de levée au sein des mêmes blocs semi-mécanisés ou mécanisés ; ce qui nous amène à écarter l'hypothèse de l'influence de la fertilité chimique du sol sur la levée du maïs.

Nos soupçons portent également sur les qualités physiques du sol. En effet, il a été montré, au chapitre précédent (cf. Chapitre I. II.1), une dégradation structurale, plus importante, du sol labouré en profondeur au tracteur, pouvant entraîner une plus grande susceptibilité à la formation d'encroûtements pelliculaires à la surface du sol, gênant ainsi la levée. Mais, ces éléments de réponse à l'échelle de la parcelle globale ne peuvent se suffire pour conclure sur la cause d'une

mauvaise levée du maïs. Nous le disons, compte tenu des différents artefacts que peuvent induire l'échantillonnage trop global et insuffisant en nombre de répétitions.

A ce stade de notre étude, seul l'examen détaillé des profils cultureux nous permettra de clarifier ces questions.

CHAPITRE 3

CARACTERISATIONS A L'ECHELLE DU PROFIL CULTURAL

CARACTERISATIONS A L'ECHELLE DU PROFIL CULTURAL

La capacité de production d'un sol dépend de son profil, mais elle n'atteint son maximum que si le niveau de tous les facteurs nutritifs a été correctement ajusté en fonction de sa constitution et des besoins de la culture (DEMOLON et HENIN, 1954 ; cité par HENIN et *al.*, 1969).

Pour ce qui nous concerne, nous n'avons noté, dans les étapes précédentes de notre étude, aucune différence significative quant aux paramètres de fertilité chimique du sol, entre les parcelles labourées et non labourées au sein du même mode de défrichement, d'une part, et entre les parcelles bénéficiant du même type de travail du sol, mais issues de modes de défrichement différents, d'autre part (Cf. chapitre I. II.2). Il convient ici de rappeler qu'en dehors des disparités issues du défrichement, toutes les parcelles ont été traitées de manière standard dans les apports de fertilisants chimiques (Cf. première partie, chapitre II. II.5). Cependant, nous avons noté à l'échelle parcellaire des tendances semblables entre l'évolution de la production et celle des paramètres physiques (densité apparente, résistance à la pénétration et stabilité structurale), malgré les risques d'erreurs liées à l'échantillonnage trop global et limité en nombre de répétitions (Cf. chapitre I. II.2). Ces constats nous amènent à rechercher, dans l'organisation morphologique et structurale du profil cultural, les facteurs pouvant être à l'origine des comportements différents de la culture et du rendement du maïs entre les pratiques culturales testées.

HENIN et *al.* (1969) ont défini le profil cultural comme étant un ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels régissant ces actions. Selon GAUTRONNEAU et MANICHON (1987), le profil cultural constitue un outil d'évaluation des potentialités agronomiques du sol. Son organisation, en effet, détermine la croissance, la disposition spatiale des racines (TARDIEUX et MANICHON, 1987) et le fonctionnement hydrique ou minéral de la plante (MAERTENS, 1964 ; TARDIEU, 1987).

Au vu de l'importance que revêt l'aspect structural du profil, nous ne pouvons concevoir une étude sur l'influence des techniques de défrichement et de mise en culture sur le sol, et ses conséquences agronomiques, sans un examen minutieux de l'organisation de la partie supérieure, impliquée dans les processus d'évolution du sol.

Cette étude rend compte d'abord de l'organisation des unités morphologiques homogènes (UMH) dans le profil, puis de l'organisation interne des unités morphologiques, afin de préciser

l'impact des pratiques culturales. Les conséquences de l'organisation du profil cultural, et de la structure interne des UMH, sur l'enracinement du maïs seront analysées ensuite.

1. DIFFERENCIATION DES PROFILS CULTURAUX

1. 1. PROTOCOLES D'ETUDE

L'étude du **profil cultural** concerne essentiellement les 40 premiers centimètres du sol: profondeur au-delà de laquelle les modifications dues aux pratiques culturales ne sont plus observées, pour le cas particulier du sol considéré.

Sur les parcelles non labourées, les profils ont été orientés parallèlement à la ligne de semis. En faite, la direction n'a aucune incidence sur l'aspect du profil, aussi bien pour le sol que pour l'enracinement (communications personnelles de G. YORO).

Pour les parcelles labourées, deux types de profils ont été examinés pour mieux apprécier l'hétérogénéité ; l'un parallèle aux billons (ligne de semis), et l'autre perpendiculaire et comprenant un billon au centre.

Pour mieux rendre compte de la variabilité spatiale des parcelles, suite au défrichement et aux quatre années de culture, trois fosses d'observation ont été ouvertes sur chaque type de surface A ou B ; soit six profils par parcelle. Cependant, compte tenu des difficultés que comportent cette étude, un profil représentatif sur trois par parcelle a été choisi, dans les *zones sombres A* qui sont les plus *dominantes* (cf. chapitre II. II.2), pour les investigations détaillées.

L'observation et l'identification de la variabilité morphologique ont fait appel aux méthodes du profil cultural de HENIN et *al.* (1969), de MANICHON (1982), puis de BLIC (1990), pour définir les différents types d'Unités Morphologiques Homogènes marquant la différenciation du profil.

Cette différenciation du profil a été estimée, d'une part, à l'aide de caractères qualitatifs tels que la *couleur* appréciée au code Munsell (*Munsell Soil Color Charts*, 1975), la *texture*, la *structure*, la *cohésion* et la *porosité* visible à l'oeil nu et, d'autre part, à l'aide de paramètres quantifiables comme l'*enracinement* et la *résistance* à la pénétration.

L'*enracinement* a été évalué et cartographié par la méthode de la grille à maille carrée (2cm x 2cm) plaquée contre la paroi du profil cultural (TARDIEU et MANICHON, 1986).

La *résistance à la pénétration* a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre à cône de poche, type YAMANAKA et MATUO (1962) DIK - 5551 Push - Cone, qui fonctionne par pression manuelle.

L'angle du cône du pénétromètre est de $25^{\circ} 20'$ et la longueur d'environ 4 cm. La compacité du sol est déterminée par la longueur de compression X (en mm), lue sur l'appareil et convertie à l'aide d'un abaque en résistance à la pénétration P (en kg/cm^2). Dix mesures ont été effectuées par unité morphologique homogène de sol.

Deux types d'échantillons ont été prélevés dans les unités morphologiques homogènes qui seront définies dans les profils culturaux : des échantillons non perturbés, destinés à l'étude de la porosité et de la micromorphologie, et des échantillons remaniés pour les analyses chimiques globales.

1. 2. TYPOLOGIE DES UNITES MORPHOLOGIQUES HOMOGENES (UMH)

L'examen des profils culturaux nous a permis de distinguer plusieurs unités morphologiques homogènes, dont la description détaillée est donnée en annexe II.3.1. Les unités morphologiques homogènes (UMH) sont les éléments de différenciation des profils culturaux. Elles varient selon le mode de traitement appliqué. Un UMH correspond ou non à un horizon continu (Planche 3). Les caractères distinctifs, et la représentation cartographique des UMH identifiées dans les profils étudiés, ainsi que la cartographie des enracinements sont présentés à la Figure II.3.1.

La légende de la Figure II.3.1 a été établie en privilégiant d'abord les caractères fondamentaux du matériel pédologique tels que la couleur, la texture, ainsi que le positionnement dans le profil. Ces caractères permettent d'établir, s'il y a lieu, des filiations entre les UMH du sol sous forêt et celles du sol sous culture. Les caractères structuraux conduisent à un deuxième niveau de distinction entre ces unités ; ils rendent plus précisément compte des modifications résultant de la mise en culture.

Les UMH sont désignées par les lettres A ou B suivies d'un numéro d'ordre correspondant à la désignation classique des horizons pédologiques sous forêt, ou à la désignation d'UMH correspondant à d'anciens horizons de sol forestier restant en place après le défrichement. Dans ce dernier cas, on adjoint un indicatif (ts), (ss), (ms), (tl), (sl) ou (ml), respectivement pour les situations de défrichement traditionnel, semi-mécanisé ou mécanisé sans labour (TS, SS ou MS) ou avec labour (TL, SL ou ML). L'appellation Ap suivie d'un numéro d'ordre et de l'indicatif (tl), (sl) ou (ml)

Planche 3 : Profil de sol des situations étudiées

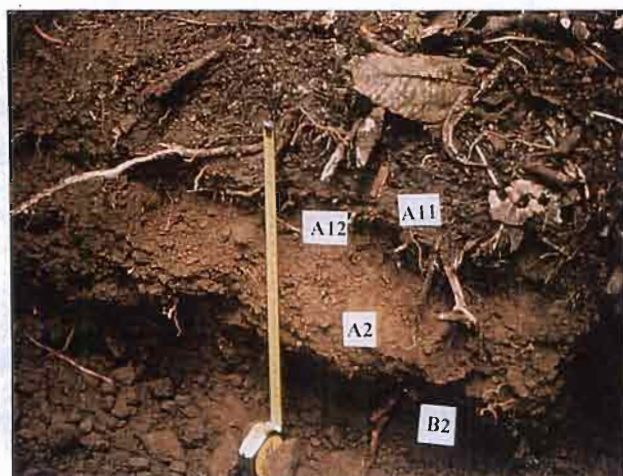


Photo 1 : Profil sous forêt témoin

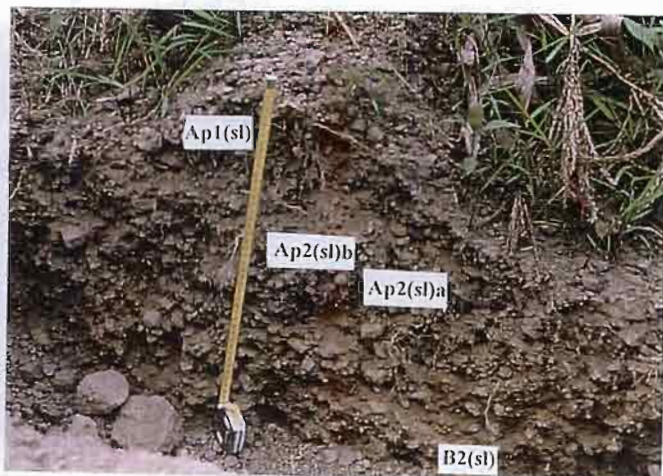


Photo 4 : Profil cultural de parcelle semi-mécanisée labourée (SL). UMH individualisées *Coupe perpendiculaire au billon.*

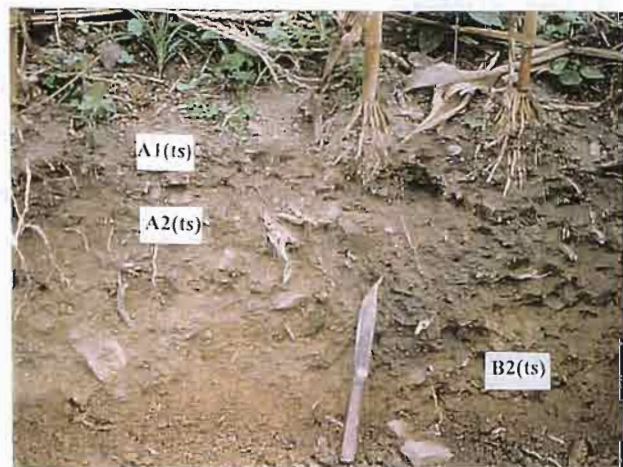


Photo 2 : Profil cultural de parcelle traditionnelle sans labour (TS).

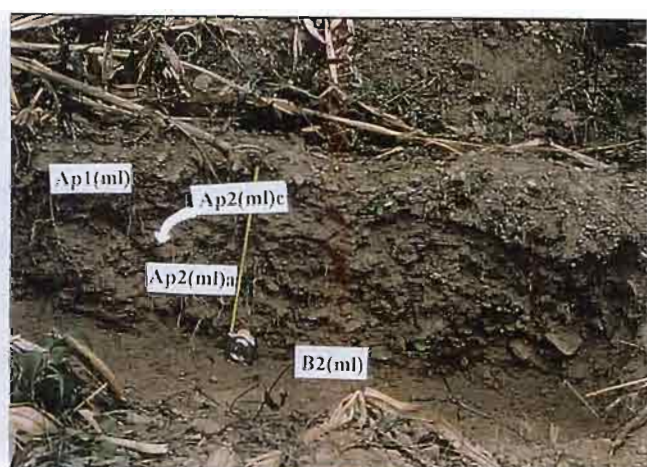


Photo 5 : Profil cultural de parcelle mécanisée labourée (ML). UMH individualisées. *Coupe parallèle au billon.*

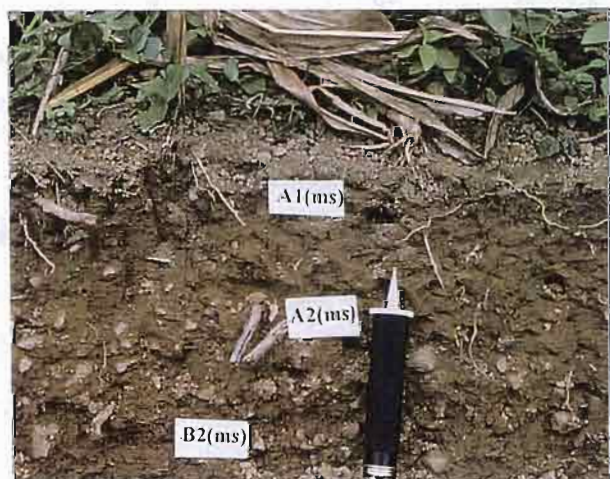


Photo 3 : Profil cultural de parcelle mécanisée sans labour (MS). *Vue du pénétromètre Yamanaka*

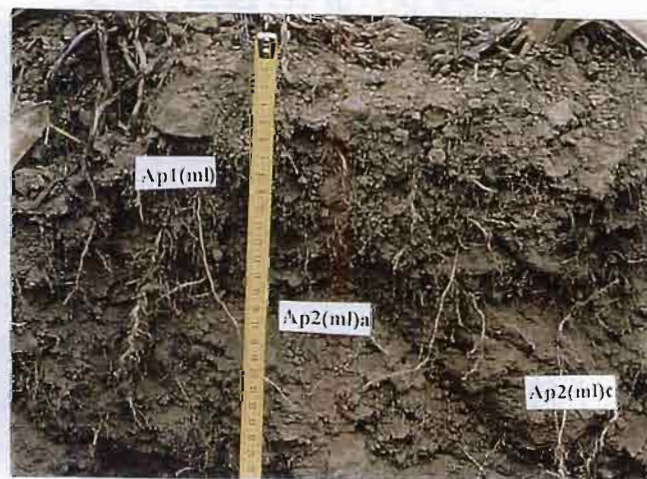


Photo 6 : Détail de la photo 5

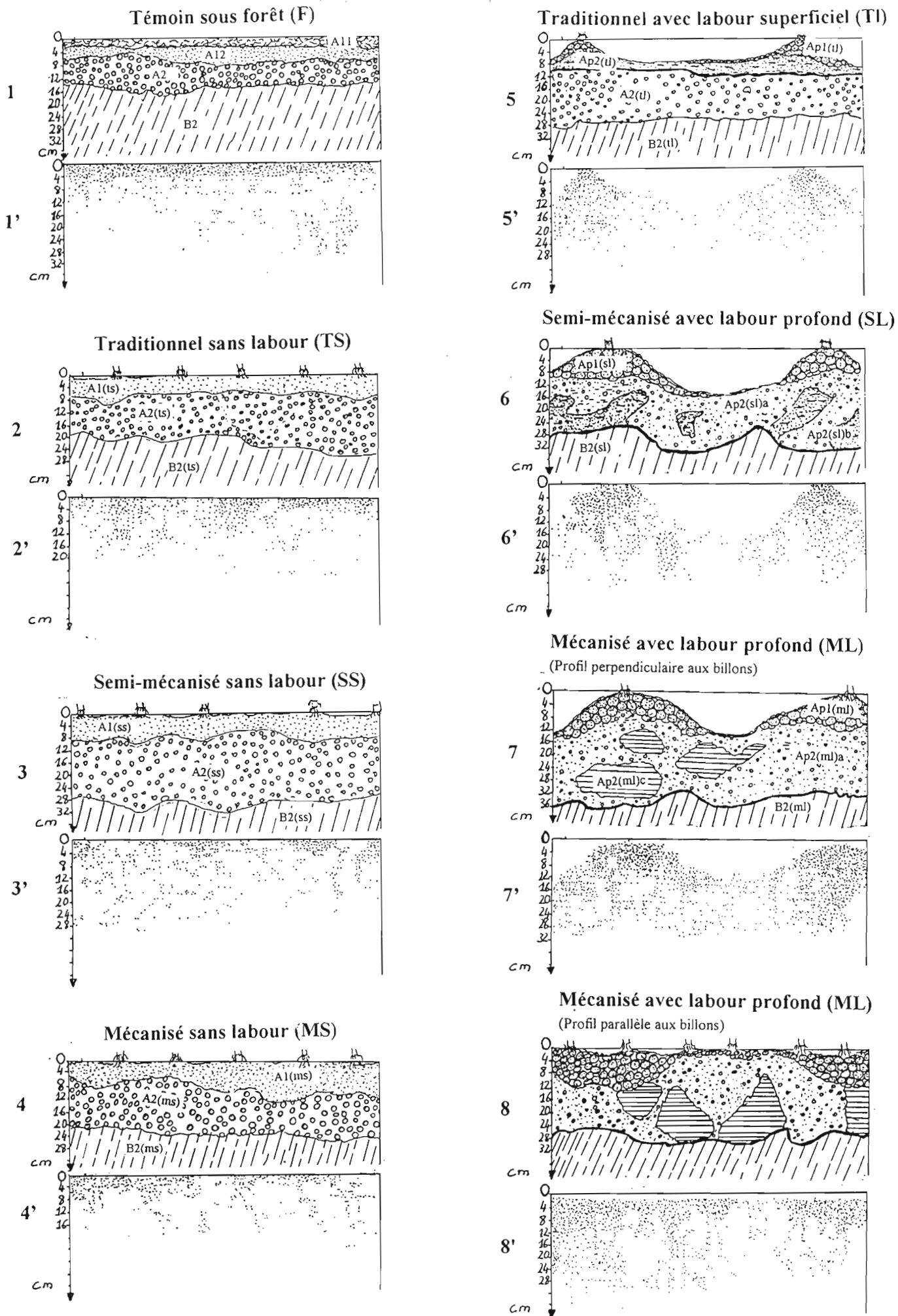


Figure II.3.1 : Cartes de différenciation morphologique du profil sous forêt témoin (1) et sa répartition racinaire (1'), des profils culturaux (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) et la distribution des racines du maïs (2', 3', 4', 5', 7', 8') pour les six situations de parcelles cultivées.

Légende de la figure II.3.1



A11 : brun à brun sombre (10 YR 4/3); feutrage racinaire; sablo-argileux; grumeleux très net, gros agrégats (cm); très boulang.



A12, A1(ts), A1(ss), A1(ms) : brun sombre jaunâtre (10 YR 4/4) pour A12 et brun à brun sombre (10 YR 3/3 et 4/3) pour A1(ts) et A1(ms); sablo-argileux et peu graveleux pour les trois; grumeleux net et grumeleux (cm), meuble pour A12 et A1(ts) et fragmentaire peu net à massif; plus cohérent pour A1(ms).



A2, A2(ts), A2(tl), A2(ss), A2(ms) : brun sombre jaunâtre (10 YR 4/4 à 4/6); sablo-argileux, environ 30% d'éléments grossiers (EG); fragmentaire net émoussé et subanguleux moyen (2-5 mm), faible cohésion pour A2 et A2(ts) et A2(tl); fragmentaire peu net à massif, plus cohérent pour A2(ms).



B2, B2(ts), B2(ss), B2(ms), B2(tl), B2(sl), B2(ml) : brun (7.5 YR 5/4 à 5/6) sous forêt et brun vif (7.5 YR 4/6 à 5/6) pour les autres; argilo-sableux, graveleux (EG>50%); massif à fragmentaire peu net et anguleux, cohérent pour les tous six cas.



Ap1(tl), Ap1(sl), Ap1(ml) : brun sombre (10 YR 3/3 à 4/3); sablo-argileux, graveleux (40% de EG), terre fine et petits agrégats (cm) arrondis, très meuble et boulang.



Ap2(sl)a, Ap2(ml)a : brun sombre (10 YR 3/3) pour Ap2(tl), brun sombre jaunâtre (10 YR 4/3 à 4/6) pour les autres; sablo-argileux, graveleux (50% de EG); fragmentaire peu net (terre fine et motte de type gamma), peu cohérent.



Ap2(tl), Ap2(sl)b : brun sombre (10 YR 3/3); sablo-argileux pour les deux; graveleux (50% de EG) avec alternance de lits de sable fin d'orientation oblique pour Ap2(sl)b ; fragmentaire émoussé moyen (2-5 mm); très meuble pour les deux.



Ap2(ml)c : brun sombre (10 YR 4/4); sablo-argileux; peu graveleux (30% de EG); massif, motte de type delta, très cohérent.

indique les horizons de la couche labourée. Les différents types d'UMH de l'horizon Ap2(sl) ou de Ap2(ml) sont différenciés par les indicatifs complémentaires a, b ou c.

1. 3. IMPACT DES PRATIQUES CULTURALES SUR L'ORGANISATION DU PROFIL CULTURAL

Les modifications morphologiques et structurales du sol, résultant du défrichement et de la mise en culture, ressortent bien de la comparaison entre les profils observés sous forêt (F) et après quatre années de culture (TS, SS, MS, TL, SL et ML). Les situations considérées permettent, en particulier, de distinguer d'après les caractères de transformation du sol, les conséquences du mode de défrichement et de la culture sans travail du sol, en comparant les traitements TS, SS et MS à F et entre eux. L'effet du labour pratiqué sur TL, SL ou ML est déterminé par la comparaison entre les profils de ces parcelles labourées (TL, SL, et ML) et ceux des parcelles non labourées (TS, SS et MS) ; cet effet est en fait, ici, toujours associé à celui du billonnage. La cartographie des impacts racinaires (Figure II.3.1) permet, en outre, d'apprécier les rapports entre les caractères de différenciation du profil cultural et le développement racinaire du maïs.

1. 3. 1. Différenciation du profil sous forêt témoin (F)

Sous la litière de forêt témoin, le profil se caractérise, jusqu'à 40 cm, par l'existence de quatre horizons pédologiques en allant de la surface vers la profondeur :

- 0 à 3 cm : A11, brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3 ; sablo-argileux ; grumeleux très net, grossier (5-10 mm), agrégats individualisés accrochés aux racines ; meuble très boulant ; grande porosité interagrégat ; très forte activité faunique (très nombreuses turricules de vers de terre et autres invertébrés) ; de très nombreuses racines (mm, cm) enchevêtrées formant un tapis racinaire ; résistance à la pénétration : 0,1 kg/cm² ; limite nette et irrégulière avec l'horizon sous-jacent ;
- 3 à 9 cm : horizon organo-minéral A12, brun à brun sombre jaunâtre 10 YR 3/4 à 4/4 ; sablo-argileux ; grumeleux net grossier (5-10 mm) ; meuble ; grande porosité interagrégat ; forte activité faunique ; nombreuses racines (cm, mm) subhorizontales ; résistance 1,4 kg/cm² ; limite graduelle ;
- 9 à 20 cm : horizon A2, brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 à 4/6 ; sablo-argileux ; fragmentaire net, polyèdres émoussés grossiers (5-10 mm) ; cohésion faible à moyenne ; porosité interagrégat ; quelques racines (cm, mm) ; éléments grossiers de quartz abondants (50%) ; résistance 8,5 kg/cm² ; limite nette ;
- 20 à 40 cm et plus : horizon B2, brun à brun vif 7,5 YR 5/4 à 5/6 ; argilo-sableux ; fragmentaire peu net à massif, polyèdres anguleux grossiers (5 - 10 mm) ; cohésion moyenne ; porosité interagrégat et

fissurale ; rares racines (mm) ; plus de 50% d'éléments grossiers ; 10,6 kg/cm² ; limite graduelle avec l'horizon d'altérite sous-jacent à 50 cm de profondeur.

1. 3. 2. Effet du défrichement

L'effet du défrichement, et de la mise en culture sans labour (Figure II.3.1), se traduit dans les trois situations TS, SS et MS par la disparition de l'horizon de surface A11 observé sous forêt. Trois types d'horizons A1(ts), A2(ts) et B2(ts) pour TS ; A1(ss), A2(ss) et B2(ss) pour SS et A1(ms), A2(ms) et B2(ms) pour MS, caractérisent le sol des parcelles mises en culture sans labour. La similitude de positionnement dans le profil, de couleur et de texture de ces horizons avec les horizons sous forêt (F) incite à dire qu'il s'agit des anciens horizons A1, A2 et B2 du sol forestier qui sont restés en place après le défrichement. Ces horizons ont subi, en particulier pour A1(ts, ss ou ms) et A2(ts, ss ou ms), d'importantes modifications morphologiques et structurales par rapport aux horizons correspondants sous forêt, mais qui diffèrent selon le mode de défrichement considéré.

Horizon A1(ts), A1(ss) ou A1(ms) : La couleur et la texture du sol sont comparables à celles des horizons A11 et A12 observés sous forêt. Par contre, la structure, fragmentaire nette à grumeleuse de A1(ts), fragmentaire peu nette de A1(ss) et celle fragmentaire peu nette à massive de A1(ms), avec une absence de porosité interagrégat, sont bien différentes de la structure grumeleuse nette à très faible cohésion avec une grande porosité interagrégat sous forêt. L'activité biologique matérialisée par de nombreuses cavités de termites, de fourmis et de turricules de vers de terre est faible sur les parcelles cultivées par rapport à celle des horizons A11 et A12 sous forêt.

Les horizons A2(ts), A2(ss) et A2(ms) sont de la même teinte et de la même texture que A2 sous forêt. Le changement de structure est ici moins prononcé que dans l'horizon supérieur. Sous forêt (A2), les polyèdres émoussés grossiers sont nettement individualisés, tandis que sur les parcelles cultivées TS, SS ou MS issues du défrichement traditionnel, semi-mécanisé ou mécanisé, les polyèdres sont anguleux moyens à grossiers (2 - 5 mm), nettement développés pour A2(ts), anguleux fins à moyens, peu développés pour A2(ss) et anguleux peu développés à non individualisés pour A2(ms). En outre, on note une augmentation de la cohésion, en allant des parcelles traditionnelles aux parcelles mécanisées, les semi-mécanisées étant intermédiaires. L'activité faunique, encore importante dans A2(ts), est faible dans A2(ss) et très faible, voire inexistante pour A2(ms) contrairement à A2 sous forêt, où les traces de mésofaunes (turricules de vers de terre, poches biologiques, cavités de termites) sont abondantes.

A partir de B2(ts), B2(ss) ou B2(ms), l'impact du défrichement et de la mise en culture n'est pas visible. Cet horizon est, quelle que soit la situation (TS, SS ou MS), fragmentaire peu net, avec

une cohésion moyenne et une porosité fissurale. Comme B2 sous forêt, la texture est argilo-sableuse, avec des fragments de roches (schistes) altérées. Par contre, contrairement à B2 sous forêt, on n'y observe aucune trace d'activité faunique.

*

Cette comparaison des profils culturaux des parcelles mises en culture au profil du sol sous végétation naturelle montre que le défrichement suivi de la mise en culture sans labour a entraîné plusieurs modifications morphologiques du sol. La disparition de l'horizon superficiel A11, observé sous forêt, est due à la forte réduction de l'activité biologique, de la décomposition de la litière et des fines racines superficielles, très nombreuses sous forêt, et aux sarclages successifs des parcelles mises en culture pour TS, ainsi qu'à l'action du bulldozer dans le cas des défrichements semi-mécanisés (S) ou mécanisés (M). Si les caractères de couleur et de texture sont restés inchangés, il en est autrement de la structure et de la cohésion, qui ont subi des modifications importantes sur les parcelles cultivées. Ces transformations concernent surtout les deux premiers horizons supérieurs A1 [A1(ts), A1(ss) ou A1(ms)] et A2 [A2(ts), A2(ss) ou A2(ms)] du sol. Les dégradations de la structure s'expriment par une réduction du caractère fragmentaire avec une augmentation du caractère anguleux des éléments structuraux et l'accroissement de la cohésion du sol. Ces dégradations s'accroissent, en passant du défrichement traditionnel au semi-mécanisé, puis au mécanisé, selon l'ampleur croissante des contraintes et des modifications morphologiques subies par le sol lors des défrichements (Cf. chapitre II. II.1). Pour l'horizon A2, les modifications structurales, quoique moindres, évoluent tout de même dans le même ordre de degré croissant, des parcelles traditionnelles aux parcelles semi-mécanisées, puis mécanisées.

1. 3. 3. Effet du labour

L'effet du labour se traduit, dans les trois situations de parcelles labourées Tl, SL et ML, par l'existence d'UMH discontinues, qui se distinguent bien des horizons continus sur parcelles non labourées TS, SS ou MS (Figure II.3.1). En comparant les épaisseurs : 5 à 10 cm pour Tl et 30 cm environ pour SL ou ML, des couches labourées à celles des horizons en place [A1(ts) : 6 cm ; A2(ts) : 16 cm ; B2(ts) : 18 cm observés] ; [A1(ss) : 10 cm ; A2(ss) : 22 cm ; B2(ss) : 8 cm observés] et [A1(ms) : 8 cm ; A2(ms) : 12 cm ; B2(ms) : 20 cm observés] des parcelles contiguës respectives (TS, SS ou MS) non labourées, on peut en déduire que le travail du sol aurait affecté les horizons suivants, pour différentes situations :

- pour les parcelles *traditionnelles avec un labour superficiel (TI)*, la couche labourée correspondrait à l'horizon A1(ts) et à environ 2 à 4 cm de l'horizon A2(ts) ; B2(ts) n'étant pas touché;

- pour les parcelles *semi-mécanisées avec un labour profond (SL)*, la couche remaniée serait faite d'un mélange des horizons A1(ss) et A2(ss) essentiellement. L'horizon B2(ss) a été quelque peu touché selon les endroits, la limite du labour étant irrégulière ;

- pour les parcelles *mécanisées avec un labour profond (ML)*, les horizons A1(ms), A2(ms) et environ 10 cm de B2(ms) du sol initial auraient été remaniés lors du labour ;

Les unités Ap proviendraient donc du remaniement des horizons A1 et partiellement de A2 pour le labour superficiel sur parcelles traditionnelles ; de A1, A2 et partiellement de B2 pour le labour profond sur parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Ce remaniement, auquel s'ajoute l'enfouissement des résidus organiques, justifie les caractères de couleur et de structure des UMH Ap, bien différents de ceux des horizons existants à profondeurs équivalentes dans le sol cultivé sans labour (TS, SS, ou MS).

Les horizons *B2(tl)*, *B2(sl)* et *B2(ml)* qui n'ont pas été affectés par le labour présentent des caractères tout à fait comparables à ceux de B2(ts), B2(ss) et B2(ms) du sol cultivé sans labour.

L'*effet du labour* (Figure II.3.1) conduit au morcellement des horizons continus du sol initial en unités morphologiques homogènes (UMH), discontinues, avec des caractères structuraux variables, pour les trois situations de défrichement. La différence entre le labour superficiel, à la houe, appliqué aux parcelles traditionnelles et celui profond, au tracteur, appliqué aux parcelles défrichées partiellement ou totalement au bulldozer, réside non seulement dans l'épaisseur de la couche remaniée, mais aussi dans la nature et la diversité des UMH qui en résultent. La couche remaniée sur les parcelles traditionnelles (TI) est de l'ordre de 8 à 12 cm sur billon et de 4 cm environ dans l'espace entre les billons. Sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées, par contre, le labour profond englobe plus de 30 cm d'épaisseur de terre remaniée sur les billons et environ 20 cm dans les espaces entre les billons.

Les UMH *Ap(tl)*, *Apl(sl)* et *Apl(ml)* présentent une couleur sombre (10 YR 4/3 à 3/3), une texture sablo-argileuse et les mêmes caractères structuraux dans les deux situations de labour (superficiel ou profond). Apl résulte du remaniement d'une partie de la couche labourée en terre fine lors de la confection des billons. Ces UMH Apl constituent le volume de terre le plus facilement colonisé par les racines. Elles présentent une structure à la fois de terre fine et

grumeleuse, avec la formation d'agrégats distincts répartis selon le réseau racinaire, bien différente de la structure à caractère plus massif des horizons respectifs A1(ts), A1(ss) ou de A1(ms) des parcelles contiguës non labourées TS, SS, ou de MS. Ces UMH présentent, en outre, une forte activité faunique (cavités de termites, de fourmis et turricules de vers de terre).

Les UMH *Ap2(tl)*, *Ap2(sl)* et *Ap2(ml)*, quant à elles, diffèrent selon le type de labour et le type de parcelle (Figure II.3.1).

- *Ap2(tl)* est homogène, de même couleur (10 YR 3/3) et de même matériel pédologique que *Ap1(tl)* sur les parcelles traditionnelles SL, malgré qu'elle apparaisse moins structurée (fragmentaire nette avec des polyèdres émoussés) que *Ap1(tl)* ; elle est aussi moins colonisée par les racines.

Sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées labourées au tracteurs, par contre, *Ap2(sl)* et *ml)* sont hétérogènes, tant au niveau de la couleur, de la cohésion et de la porosité que de la structure. Chacune comporte deux sous unités : *Ap2(sl)a* et *Ap2(sl)b* pour l'une et *Ap2(ml)a* et *Ap2(ml)c* pour l'autre.

- *Ap2(sl)a* et *Ap2(ml)a* sont semblables pour les deux types de parcelles labourées issues des défrichements faits partiellement (SL) ou totalement (ML) au bulldozer. Elles présentent une couleur plus claire, une structure moins développée et moins fragmentaire ainsi qu'une plus forte cohésion et une porosité visible plus faible que *Ap1(sl ou ml)*.

- *Ap2(sl)b* observée sous les parcelles semi-mécanisées (SL) est bien différente de *Ap2(ml)c* des parcelles entièrement mécanisées (ML) ; ces deux UMH étant incluses. Sous SL, cette unité présente une couleur plus sombre, une texture plus riche en éléments grossiers, avec des traits de structure litée et une faible cohésion, qui se distinguent des caractères de *Ap2(sl)a*. Cette *Ap2(sl)b* proviendrait de volumes non compactés de l'horizon superficiel et enfouis par le labour. L'orientation générale oblique de ces UMH (figure II.3.1) indique qu'elles représentent des bandes de terre retournées par la charrue lors du labour.

A l'opposé de *Ap2(sl)b*, l'UMH *Ap2(ml)c*, répartie de façon discontinue dans *Ap2(ml)a* des parcelles entièrement mécanisées (ML), est la moins aérée et la moins structurée de tous les volumes identifiés dans les profils culturaux. Ses caractères de structure massive et de forte cohésion tranchent fortement avec ceux de l'UMH *Ap2(ml)a*. Il existe quelques traces d'activités fauniques (cavités de fourmis et de termites). Sa structure continue et sa forte cohésion résulteraient de l'impact plus sévère du bulldozer sur le sol pendant le défrichement entièrement mécanisé. Ce type de volume représente environ 23% de l'horizon *Ap2(ml)a* et 16% en surface du

profil cultural observé. Ses caractères incitent à penser qu'ils représentent un matériau compacté dans la partie supérieure du sol au moment du défrichement mécanisé, et qui aurait ensuite été enfoui, en se fragmentant, mais sans destruction, lors des labours successifs. La présence d'inclusions végétales traduirait aussi une origine superficielle. L'hypothèse sur l'origine superficielle des UMH Ap2(sl)b et Ap2(ml)c mérite d'être élucidée par la suite avec des éléments de vérification supplémentaires.

Au-dessous de la limite de travail, les horizons A2Tl et B2(tl, sl et ml) conservent des caractères morphologiques, comparables à ceux des horizons correspondants existant sous les parcelles non défrichées, respectivement A2ts et B2(ts, ss et ms).

*

L'examen des profils culturaux des parcelles labourées montre que le labour superficiel (Tl) appliqué aux parcelles traditionnelles modifie peu l'organisation pédologique du sol, eu égard à la faible profondeur concernée ; le travail du sol favorisant, cependant, l'ameublissement de la partie superficielle du sol.

Le labour profond (SL et ML), quant à lui, englobe entièrement les deux horizons supérieurs A1 et A2 et une partie de B2 du sol. Il entraîne ainsi, des transformations morphologiques et physiques importantes des 30 cm supérieurs du sol qui représentent la couche la plus sollicitée pour le développement des plantes cultivées ; celle-ci présente un état structural plus fragmentaire et de plus faible cohésion que dans le sol non labouré de SS et MS. La différence entre les profils culturaux des deux types de parcelles labourées en profondeur au tracteur (SL et ML), issues respectivement des modes de défrichement semi-mécanisé ou entièrement mécanisé, réside dans la composition des unités Ap2. L'absence, d'une part, d'UMH de type compact Ap2(ml)c dans le profil des parcelles SL et, d'autre part, de UMH de type meuble Ap2(sl)b dans le profil des parcelles ML, témoigne de plus fortes perturbations mécaniques et de la compaction du sol pendant le défrichement entièrement réalisé au bulldozer. Pour SL, les effets de compaction du bulldozer sur le sol ont été atténués par la coupe préalable du sous-bois avant l'intervention du bulldozer. Ainsi, le profil cultural du sol sous labour profond traduirait encore des modifications survenues dans la couche supérieure du sol pendant le défrichement (Cf. chapitre II. II.1). Ce constat va dans le même sens que les observations de COULOMB *et al.* (1993). Ces auteurs notent que lorsque l'état du sol est continu et compact avant le labour, il se caractérise, après, par la présence de mottes compactes de fort calibre dont la taille et l'état de fissuration varient selon l'ancienneté du compactage.

1. 3. 4. Conclusion

Cette première analyse, basée sur les caractères fondamentaux du matériel pédologique tels que la couleur, la texture, la structure et la localisation des UMH, fait ressortir différents constats sur les effets du défrichement et du travail du sol sur le profil cultural. L'évaluation des UMH selon leurs caractères d'affinité structurale et de cohésion nous permet de les regrouper en quatre classes distinctes (Tableau II.3.1). qui font bien ressortir l'effet des défrichements traditionnels, semi-mécanisés ou mécanisés et l'effet du travail du sol selon l'importance des contraintes techniques.

Le *défrichement*, suivi de la mise en culture sans labour, a entraîné une dégradation de la structure des deux premiers horizons supérieurs du sol forestier (Tableau II.3.1). Le sol devient plus compact, plus cohérent avec une réduction de la porosité interagrégat par rapport à son état très aérée sous végétation naturelle. Cette dégradation du sol s'est faite par degré croissant en fonction de l'ampleur des modifications selon les modes de défrichement. Le sol apparaît donc moins affecté sur les parcelles issues du défrichement traditionnel que sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Ainsi, les horizons A1(ts) et A2(ts) de la parcelle traditionnelle, quoique légèrement moins structurés, se situent dans le même groupe que ceux (A11, A12 et A2) du témoin sous forêt (Tableau II.3.1). La structure des horizons supérieurs A1(ss), A2(ss), de la parcelle semi-mécanisée (SS), et surtout de A1(ms) et A2(ms), de la parcelle mécanisée (MS), se rapproche de celle des horizons de profondeur moins structurés B2, dont les caractères n'ont pratiquement pas varié sous défriche labourée ou non labourée, par rapport à la forêt (Tableau II.3.1). Ceci montre une dégradation plus sévère de la couche supérieure du sol sous les traitements semi-mécanisés et mécanisés sans labour. Entre les deux modes de défrichement, le sol est plus compact sur les parcelles entièrement défrichées au bulldozer (MS) que sur celles où le bulldozer n'a été utilisé que partiellement (SS).

Si le *labour superficiel* modifie peu le sol, à cause de la faible profondeur concernée, le *labour profond* au tracteur, lui, entraîne le remaniement et le mélange de plus de 30 cm supérieur du sol. Il engendrent, ainsi, une diversité d'unités morphologiques homogènes (UMH) de caractères (couleur, texture, structure, cohésion) différents. Ainsi, contrairement aux parcelles non labourées (SS et MS), avec des horizons mal structurés, les parcelles de labour profond (SL et ML) présentent des UMH Ap1 et Ap2, avec des caractères structuraux plus proches de ceux des horizons supérieurs sous forêt témoin (Tableau II.3.1), bien qu'il existe des UMH Ap2(ml) plus compactes dans la couche remaniée des parcelles défrichées entièrement au bulldozer (ML).

Cette variabilité morphologique du profil cultural avec, d'une part, des horizons plus compacts dans les systèmes sans labour et, d'autre part, avec des UMH de caractères structuraux divers dans les profils labourés, laisse supposer des conséquences sur le fonctionnement du sol, vis-à-vis de son potentiel de fertilité (régime hydrique, alimentation minérale) pour les plantes cultivées. La question qui se pose est de savoir si ces modifications se révèlent aussi au niveau des organisations microplasmiques et quelles en sont les conséquences sur le comportement racinaire et le développement du maïs.

L'analyse des paramètres quantifiables comme la résistance à la pénétration et l'organisation de l'espace poral des UMH vont nous permettre de mieux apprécier le caractère fonctionnel de ce sol, selon les situations étudiées. En plus de ces facteurs quantifiables, des observations plus fines par microscopie optique puis électronique nous permettront de compléter l'analyse de l'importance des modifications décelées à l'échelle du profil cultural.

1. 4. RESISTANCE MOYENNE A LA PENETRATION (RMP) DES UMH

Les mesures de résistance moyenne à la pénétration RMP (en Kg/cm²) présentent des valeurs significativement différentes entre les UMH (Tableau II.3.2).

D'une manière générale, on note sous forêt et sur les parcelles mises en culture sans labour, un accroissement de la résistance à la pénétration du haut vers le bas du profil.

1. 4. 1. Parcelle témoin sous forêt (F)

Sous forêt, les valeurs de RMP augmentent de façon significative du sommet vers le bas du profil (Tableau II.3.2). On notera le saut de valeur important, avec un facteur d'ordre 6, en passant de A12 (1,4 Kg/cm²) à A2 (7,8 Kg/cm²). L'écart entre la valeur de résistance de l'unité A2 et celle de l'horizon de dessous B2 (10,7 Kg/cm²) est moins grand mais apparaît tout de même significatif selon le test statistique de Newman-Keuls (Tableau II.3.2). Cette augmentation de la résistance à la pénétration concorde avec les modifications de structure et de cohésion avec la profondeur observée sur le terrain.

Tableau II.3.1 : Classification des UMH selon leurs caractères structuraux et leur cohésion

<i>Cohésion</i>	Type de structure	<i>F</i>	<i>TS</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>TL</i>	<i>SL</i>	<i>ML</i>
<i>meuble très boulant à meuble</i>	grumeleuse très nette grossière (5 - 10 mm) et terre fine	<i>A11</i>				<i>Ap1(tl)</i>	<i>Ap1(sl)</i>	<i>Ap1(ml)</i>
	à grumeleuse nette grossière (5 - 10 mm)	<i>A12</i>	<i>A1(ts)</i>					
<i>Cohésion faible</i>	fragmentaire nette polyèdres émoussés grossiers (5 - 10 mm)					<i>Ap2(tl)</i>	<i>p2(sl)a⁽²⁾</i>	<i>Ap2(ml)a</i>
	à anguleux moyens à grossiers (2-10 mm)	<i>A2</i>	<i>A2(ts)</i>			<i>A2(tl)</i>	<i>p2(sl)b⁽¹⁾</i>	
<i>Cohésion moyenne</i>	fragmentaire peu nette polyèdres anguleux moyen à grossiers (2-10 mm)			<i>A1(ss)</i> <i>A2(ss)</i>				
	à massive	<i>B2</i>	<i>B2(ts)</i>		<i>A1(ms)</i> <i>A2(ms)</i> <i>B2(ss)</i> . <i>B2(ms)</i>	<i>B2(tl)</i>	<i>B2(sl)</i>	<i>B2(ml)</i>
<i>Cohésion forte</i>	Massive							<i>Ap2(ml)c</i>

⁽¹⁾ avec litages obliques.⁽²⁾ avec terre émietée et mottes gamma.

Tableau II.3.2 : Valeurs de résistance moyenne à la pénétration (RMP) des unités morphologiques homogènes (UMH)

Traitements	UMH	Epaisseur des UMH (cm)	RMP en (Kg/cm ²)	Comparaison RMP globale
Forêt (F)	<i>A11</i>	0 - 3	0,1 <i>0,0</i>	a
	<i>A12</i>	3 - 9	1,4 <i>0,2</i>	b
	<i>A2</i>	9 - 18	7,7 <i>0,8</i>	c
	<i>B2</i>	18 - 40	10,6 <i>1,4</i>	d
Traditionnel sans labour (TS)	<i>A1(ts)</i>	0 - 6	1,8 <i>0,2</i>	a
	<i>A2(ts)</i>	6 - 22	9,2 <i>0,8</i>	b
	<i>B2(ts)</i>	22 - 40	9,0 <i>1,1</i>	b
Semi-mécanisé sans labour (SS)	<i>A1(ss)</i>	0 - 10	3,7 <i>0,5</i>	a
	<i>A2(ss)</i>	10 - 32	10,9 <i>1,0</i>	b
	<i>B2(ss)</i>	32 - 40	9,8 <i>1,1</i>	b
Mécanisé sans labour (MS)	<i>A1(ms)</i>	0 - 8	3,8 <i>0,7</i>	a
	<i>A2(ms)</i>	8 - 20	10,1 <i>1,3</i>	b
	<i>B2(ms)</i>	20 - 40	10,3 <i>1,3</i>	b

Traitements	UMH	Epaisseur des UMH (cm)	RMP en (Kg/cm ²)	Comparaison RMP globale
Traditionnel	<i>Ap1(tl)</i>	0 - 6	0,1 <i>0,0</i>	a
Avec labour superficiel (TL)	<i>Ap2(tl)</i>	6 - 12	1,2 <i>0,1</i>	b
	<i>A2(tl)</i>	12 - 30	8,8 <i>1,0</i>	c
	<i>B2(tl)</i>	30 - 40	9,7 <i>1,4</i>	c
Semi-mécanisé avec labour profond (SL)	<i>Ap1(sl)</i>	0 - 10	0,6 <i>0,1</i>	a
	<i>Ap2(sl)a</i>	10 - 22	4,5 <i>0,4</i>	b
	<i>Ap2(sl)b</i>	22 - 28	1,6 <i>0,3</i>	a
	<i>B2(sl)</i>	28 - 40	10,8 <i>1,6</i>	c
Mécanisé avec labour profond (ML)	<i>Ap1(ml)</i>	0 - 7	0,5 <i>0,1</i>	a
	<i>Ap2(ml)a</i>	7 - 32	2,1 <i>0,2</i>	a
	<i>Ap2(ml)c</i>	16 - 28	14,1 <i>1,1</i>	c
	<i>B2(ml)</i>	32 - 40	10,5 <i>1,8</i>	b

UMH : Unité Morphologique Homogène ; RMP : Résistance moyenne à la pénétration

Pour chaque colonne, les moyennes (RMP) affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman - Keuls
 Les chiffres en *italique* représentent les écart-types sur les moyennes

p < 0,0001 : n = 260 données de RMP

1. 4. 2. Effet du défrichement sur la résistance moyenne à la pénétration (RMP)

L'effet du défrichement et de la mise en culture sans labour se manifeste, dans les trois situations de défrichement traditionnel, semi-mécanisé ou mécanisé (TS, SS et MS) par un accroissement important des valeurs de RMP sur les deux premiers horizons, A1[A1(ts), A1(ss), A1(ms)] et A2[A2(ts), A2(ss), A2(ms)], par rapport aux horizons correspondants (A12 et A2) sous forêt (F).

L'analyse de variance (Tableau II.3.2) montre que les différences de valeurs de résistance à la pénétration entre les UMH A1(ts) et A2(ts) de la parcelle traditionnelle (TS) et celles des horizons A12 et A2 du témoin sous forêt (F) ne sont pas significatives, bien que les valeurs soient supérieures sur les parcelles traditionnelles (TS). Les différences sont significatives, surtout, entre les valeurs de résistance des horizons sous végétation naturelle (F) et celles des horizons A1(ss), A1(ms), A2(ss) et A2(ms) des parcelles semi-mécanisées (SS) ou mécanisées (MS) qui sont 2 à 3 fois supérieures. Les valeurs de ces deux derniers traitements sous culture sont peu différentes et les plus élevées. Il n'y a pas de variation significative de RMP entre le B2(ts, ss et ms) et le B2 du sol sous forêt.

*

Cet accroissement de la résistance mécanique du sol à la pénétration, sensiblement plus important sur les parcelles semi-mécanisées (SS) et sur les mécanisées (MS), traduit l'effet des contraintes plus sévères sur le sol par les opérations de défrichement semi-mécanisé ou mécanisé que par le mode traditionnel (cf. Chapitre II. II.1). Ces différences de résistance dans les deux premiers horizons du sol, plus fortes sur les parcelles SS et MS que sur les parcelles TS, concordent avec la structure plus massive et la plus forte cohésion du sol issu des défrichements faits partiellement ou totalement au bulldozer.

1. 4. 3. Effet du labour sur la RMP

L'effet du labour sur la résistance à la pénétration (RMP) concerne surtout la couche remaniée. Cette influence, très hétérogène du labour, diffère selon les UMH et varie d'une situation à l'autre.

Sur les *parcelles traditionnelles* (tl), l'effet du labour superficiel se caractérise (Tableau II.3.2) par une valeur de RMP de l'UMH Ap1(tl) ($0,1 \text{ Kg/cm}^2$) 23 fois plus faible que celle de A1(ts) de la parcelle non labourée TS. Cette valeur de RMP de Ap1(tl) est semblable à celle de A11

sous forêt (F). Par contre, Ap2(tl) issu du même matériel que Ap1(tl) apparaît significativement plus résistant (environ 12 fois). Sa valeur est peu différente de celle de A1(ts) ($1,8 \text{ Kg/cm}^2$) de la parcelle contiguë non labourée (TS), ainsi que de celle de A12 ($1,4 \text{ Kg/cm}^2$) sous forêt. Par contre, pour A2(tl), non affecté par le labour, la RMP est beaucoup plus élevée et reste comparable à celle de A2(ts) sur la parcelle non défrichée.

Sur les *parcelles semi-mécanisées labourées (SL)*, l'UMH Ap1(sl) ($0,6 \text{ Kg/cm}^2$) est 6 fois moins résistante que A1(ss). Toutes les unités de l'horizon Ap2(sl) [Ap2(sl)a et Ap2(sl)b] ont des valeurs de RMP largement (2 et 7 fois) inférieures à celles de A2(ss) ($10,9 \text{ Kg/cm}^2$) de la parcelle non labourée (SS) du même bloc semi-mécanisé.

L'effet du labour se caractérise sur la *parcelle mécanisée ML* par des valeurs de résistance à la pénétration (RMP) également variables selon les UMH (Tableau II.3.2), comme dans le cas des parcelles SL. Les valeurs de RMP des UMH Ap1(ml) ($0,5 \text{ Kg/cm}^2$) et Ap2(ml)a ($2,1 \text{ Kg/cm}^2$) sont respectivement de 8 et 5 fois plus faibles que celles de A1(ms) ($3,8 \text{ Kg/cm}^2$) et A2(ms) ($10,1 \text{ Kg/cm}^2$) de MS et 3 et 4 fois plus faibles que celles de A12 et de A2 sous forêt. Ap2(ml)c ($14,1 \text{ Kg/cm}^2$) se distingue, par contre, par une résistance à la pénétration, bien plus élevée (7 et 30 fois) que celle de Ap2(ml)a et Ap1(ml). Cette forte résistance est en accord avec la forte cohésion et la structure plus massive de cet UMH.

En profondeur, au-dessous de la couche labourée, le labour (superficiel ou profond) ne paraît pas avoir d'influence significative sur la résistance à la pénétration de l'horizon A2(tl) ni des horizons B2(tl, sl, ml), par rapport aux horizons correspondants des situations de même type de défrichement non labourés, respectivement A2(ts) et B2(ts, ss, ms). Les valeurs de RMP de cet horizon B2 restent comparables dans toutes les situations (Tableau II.3.2).

*

L'analyse de variance effectuée sur toutes les valeurs de RMP, pour toutes les situations confondues, laisse apparaître 6 classes dans l'ordre de résistance croissante (Tableau II.3.3). Ce tableau fait ressortir :

- la faible RMP des UMH Ap1 des horizons labourés qui se retrouvent ainsi dans la même classe (1) que l'horizon superficiel A11 du sol sous forêt;

- l'avantage, pour chacun des deux groupes de parcelles non labourées ou labourées, du défrichement traditionnel par rapport aux défrichements semi-mécanisé et mécanisé, en comparant les UMH A1(ts) et Ap2(tl) de TS et TL, placées en classe 2, respectivement aux UMH A1 (ss et ms) de SS et MS et Ap2 ((sl)a et (ml)a) de SL et ML qui se situent en classe 3. La plus faible épaisseur de Ap2(tl) et l'existence de A2(tl), en classe 4, incitent cependant à tempérer ce jugement dans le cas de TL;

- que les horizons A2(ts), A2(ss), A2(ms) ainsi que ceux, A2(tl) et B2(tl, sl et sm), non directement affectés par le travail du sol se trouvent dans les classes les plus défavorables.

Il ressort également une concordance entre les caractères structuraux, la cohésion et la résistance à la pénétration des différentes unités (Tableau II.3.1 et II.3.3). Les UMH A11, A12, A1(ts), Ap1(tl), Ap1(sl), Ap1(ml) et Ap2(sl)b de la classe 1, grumeleuses et de faible cohésion (boulante) appartiennent aux classes 1 et 2, de plus faible RMP. A l'opposé, les UMH peu structurées ont les plus fortes résistances. Pour les UMH incluses, Ap2(sl)b se trouve dans la classe meuble tandis que Ap2(ml)c est dans la classe la plus mauvaise tant au niveau de la structure que de la résistance à la pénétration. Ceci laisse encore apparaître, la dégradation plus importante du sol sous l'effet du défrichement entièrement mécanisé dont Ap2(ml)c représente des reliques subsistant dans l'horizon labouré.

Tableau II.3.3 : Différentes classes de valeurs de résistance moyenne à la pénétration (en Kg/cm²) selon les unités morphologiques homogènes (UMH)

Classes	Groupes homogènes	<i>F</i>	<i>TS</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>TL</i>	<i>SL</i>	<i>ML</i>
1	a - ab	A11 0,06				Ap1(tl) 0,08	Ap1(sl) 0,56	Ap1(ml) 0,47
2	b - bc	A12 1,37	A1(ts) 1,81			Ap2(tl) 1,25	Ap2(sl)b 1,58	
3	c			A1(ss) 3,70	A1(ms) 3,82		Ap2(sl)a 4,53 Ap3(sl) 2,52	Ap2(ml)a 2,06
4	d	A2 7,75				A2(tl) 8,75		
5	de - e	B2 10,62	A2(ts) 9,17 B2(ts) 9,02	A2(ss) 10,89 B2(ss) 9,85	A2(ms) 10,11 B2(ms) 10,33	B2(tl) 9,72	B2(sl) 10,77	B2(ml) 10,5
6	f							Ap2(ml)b 14,13

Groupes homogènes sont établis d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %

P < 0,0001 ; n = 260

2. CARACTERISTIQUES PORALES DES UMH

2. 1. PROTOCOLE D'ETUDE

L'appréciation des caractéristiques porales a été abordée de deux manières par :

- la détermination de la *porosité totale obtenue d'après les densités* (densité apparente déterminée à la paraffine sur des mottes d'environ 5 cm de diamètre, et la densité réelle au pycnomètre à eau). La porosité totale (n) des UMH est calculée à partir de la densité réelle (dr) et de la densité apparente (da) d'après la formule :

$$n = 1 - (da/dr)$$

Cette méthode d'évaluation de la porosité donne une appréciation globale du volume totale des vides. Elle ne permet, cependant, pas de rendre compte de manière précise des modifications des caractères de l'espace poral sous l'effet des différentes pratiques culturales. En effet, à valeurs de porosité totale égales, les UMH peuvent présenter des caractéristiques porales (forme des pores, diamètre) bien différentes en fonction de leur origine et des contraintes physiques jouant sur l'arrangement des particules du sol. Pour ce faire, le recours à la porosimétrie à mercure puis à la micromorphologie s'avère nécessaire pour l'examen du caractère fonctionnel de l'espace poral.

- La *porosimétrie au mercure* est une méthode proposée en 1921 par Washburn pour déterminer la distribution de la taille des pores dans des matériaux poreux. Cette méthode a été développée sur divers types de matériaux solides (RITTER et DRAKE, 1945), puis appliquée à des échantillons de sol (DIAMOND, 1970 ; NAGPAL ET AL, 1972 ; LAWRENCE, 1978 ; PELLERIN, 1980 ; FIES, 1984).

Les mesures de porosité par intrusion au porosimètre à mercure permettent d'évaluer le volume poral (Hg) et la répartition des pores en fonction de leur diamètre d'accès au mercure. Le mercure étant un fluide non mouillant, son intrusion dans la porosité ne peut se faire que par l'application d'une pression. Le principe est développé en annexe II.3.2. En considérant que les pores sont cylindriques, la pression appliquée peut être reliée au diamètre des pores par la loi de Jurin dont l'expression est :

$$P = -4 \gamma \cos\theta / D \quad (1)$$

avec γ : tension superficielle du mercure égale à 0,485 N/m,

θ : angle de raccordement du ménisque à l'interface mercure-solide égal à 130°,

D : le diamètre d'accès aux pores. D est exprimé en (μm).

P en MPa : la pression appliquée dans l'enceinte du porosimètre pour faire pénétrer le mercure dans l'échantillon. L'équation (1) se résume en l'équation (2) suivante, d'après FIES (1984):

$$P = 1,245/D \quad (2)$$

Avec l'appareil utilisé (Pore Sizer 9310, Micrométries), la gamme de diamètre poral mesurable s'étend entre 400 et 0,006 μm .

Cette technique permet donc une caractérisation des diamètres d'accès et non les dimensions réelles des pores. Lorsqu'il existe des pores présentant des étranglements, le mercure ne peut pénétrer que sous l'effet de fortes pressions qui dépendent de la taille des constriction et qui peuvent ne pas correspondre à la taille (volume) réelle du pore.

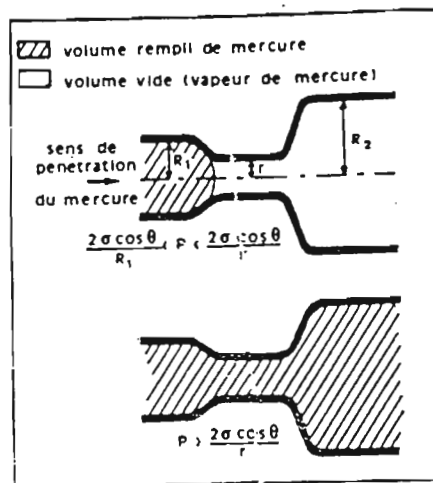


Figure II.3.2 : Notion schématique du rayon d'accès d'un pore
(d'après BOUSQUIE, 1979)

Du fait de ce phénomène « bouteille d'encre », les informations sur les dimensions des pores peuvent être incomplètes. Cette technique n'offre pas non plus d'information sur la géométrie des pores (forme, distribution spatiale). Pour ces raisons, les mesures de porosité seront complétées par des analyses micromorphologiques (caractérisation visuelle) pour rendre compte de la morphologie de l'espace poral.

Les mesures ont été faites sur des mottes non perturbées, de 2 à 3 cm de diamètre, extraites des unités morphologiques homogènes. L'échantillon séché à l'étuve à 105°C, est préalablement soumis à un vide de l'ordre de 1.10^{-5} MPa avant le remplissage de la cellule par le mercure. Afin de

rendre toutes les courbes d'intrusion comparables, les valeurs d'intrusion sont ramenées à un diamètre de référence par interpolation entre deux mesures successives. Les valeurs pour chaque UMH représentent des données reproductives obtenues d'après deux ou trois mesures selon les cas. Compte tenu du coût de ces analyses, le nombre de répétition n'a pu être uniformisé pour pouvoir en faire des traitements statistiques.

2. 2. LE PROBLEME DES ELEMENTS GROSSIERS (EG)

2.2. 1. Evaluation des éléments grossiers

La nature graveleuse du sol a été prise en compte de plusieurs façons, afin de spécifier l'influence des concentrations en éléments grossiers sur l'espace poral des UMH :

- le taux pondéral a été déterminé d'une part sur les UMH totales (**EG de terrain**), et d'autre part sur les mottes de 5 cm de diamètre (**EG sur mottes**) ayant servi pour les mesures de porosité totale, ainsi que sur les échantillons de 2 à 3 cm de diamètre utilisés pour les intrusions de mercure (**EG sur échantillon**).

- la densité apparente des EG a été déterminée par immersion dans le pétrole (Monnier et *al.*, 1973) et la masse volumique des solides par pycnométrie à l'eau.

- une intrusion au mercure a été également réalisée sur ces éléments grossiers, en vue de déterminer leur spectre poral, et d'évaluer ainsi leur influence sur les spectres poraux des UMH.

Toutes les valeurs des paramètres inhérents à la porosité des éléments grossiers sont inscrites en annexe II.3.3.

La comparaison des taux obtenus montre peu de concordance entre les estimations sur les UMH totales et les taux évalués sur les mottes de 5 cm de diamètre ainsi que ceux des échantillons de 2 à 3 cm³ analysés au porosimètre, à cause de la taille très variable (2 à 50 mm voire 100 mm de diamètre) des éléments grossiers. Par contre, il apparaît que les pourcentages volumiques et les taux pondéraux des éléments grossiers sont liés (Figure II.3.3). Aussi, les études de l'influence des éléments grossiers sur l'espace poral seront faites avec les taux pondéraux ; les proportions volumiques n'ayant pas été établies pour tous les types d'échantillons.

2. 2. 2. Spectre poral des éléments grossiers

Cependant, compte tenu de la taille (2 à 3 cm³) de l'échantillon passant au porosimètre à mercure (Hg), les EG susceptibles d'être pris en compte, dans les mesures au porosimètre, sont ceux du groupe des graviers dont la taille est comprise entre 2 et 5 mm de diamètre.

Ces EG sont faiblement altérés, donc de faible porosité. Le spectre poral obtenu sur plusieurs EG de cette catégorie, montre que leur espace poral est à dominance constituée de pores de faible diamètre (< 6 µm) (Figure II.3.4), en général, peu affectés par les activités agricoles. Le volume poral total des EG, obtenu au porosimètre à mercure est de 0,013 cm³/g avec 75% des diamètres de pores inférieurs à 0,5 µm (Figure II.3.4).

2. 2.3. Influence des teneurs en éléments grossiers sur la porosité des UMH

L'analyse de régression entre la porosité et les teneurs pondérales en EG montre que la porosité totale (**n**) diminue avec l'augmentation de teneurs en éléments grossiers (Figure II.3.5 a) et que la relation s'exprime mieux à partir des taux de EG de l'ordre de 30 %. En dessous de cette proportion, la porosité ne paraît pas liée à la présence des éléments grossiers.

Pour la porosité totale (**Hg**) calculée à partir des mesures au porosimètre à mercure, l'influence des éléments grossiers se manifeste également par une baisse des valeurs de porosité à partir des fortes teneurs (EG > 40 % en poids) (Figure II.3.5 b). En revanche, la proportion des pores de diamètre inférieur à 0,3 µm augmente, à cause de la porosité plus fine des éléments grossiers (Figure II.3.5 c). Les éléments grossiers entraînent donc une diminution de la porosité grossière et un accroissement de la porosité fine à cause de leur plus forte densité et leur espace poral essentiellement constitué de pores fins. A ce propos, la structure interne des éléments grossiers est présentée au paragraphe réservé à l'étude micromorphologique sur lames minces.

Ces résultats conduisent à distinguer deux groupes d'UMH en fonction de l'importance réduite ou élevée du taux des EG.

Taux volumique des éléments grossiers EG en fonction du taux pondéral des EG

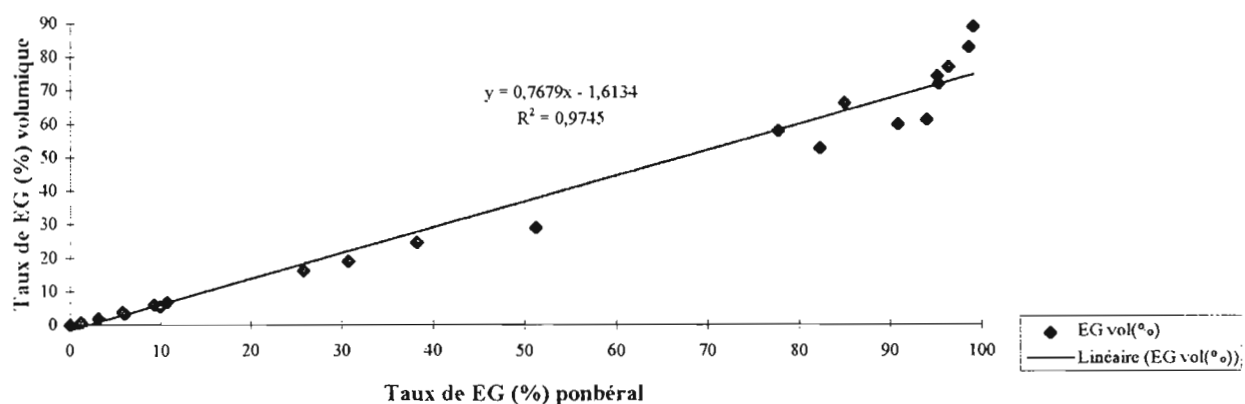


Figure II.3.3 : Pourcentage volumique des éléments grossiers (EG) en fonction leur teneur pondérale

Spectre poral des éléments grossiers (EG)

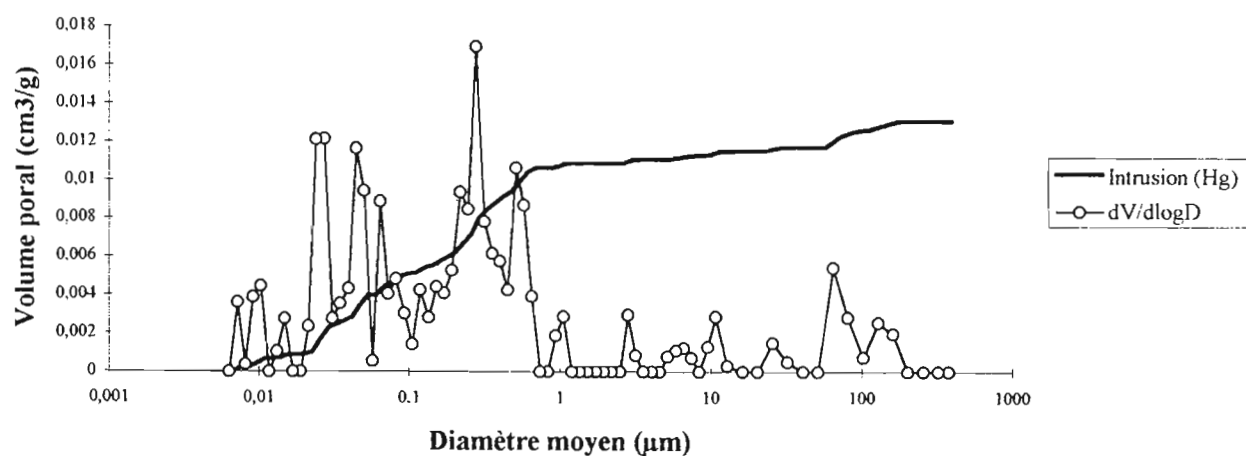


Figure II.3.4 : Répartition porale des éléments grossiers (EG)

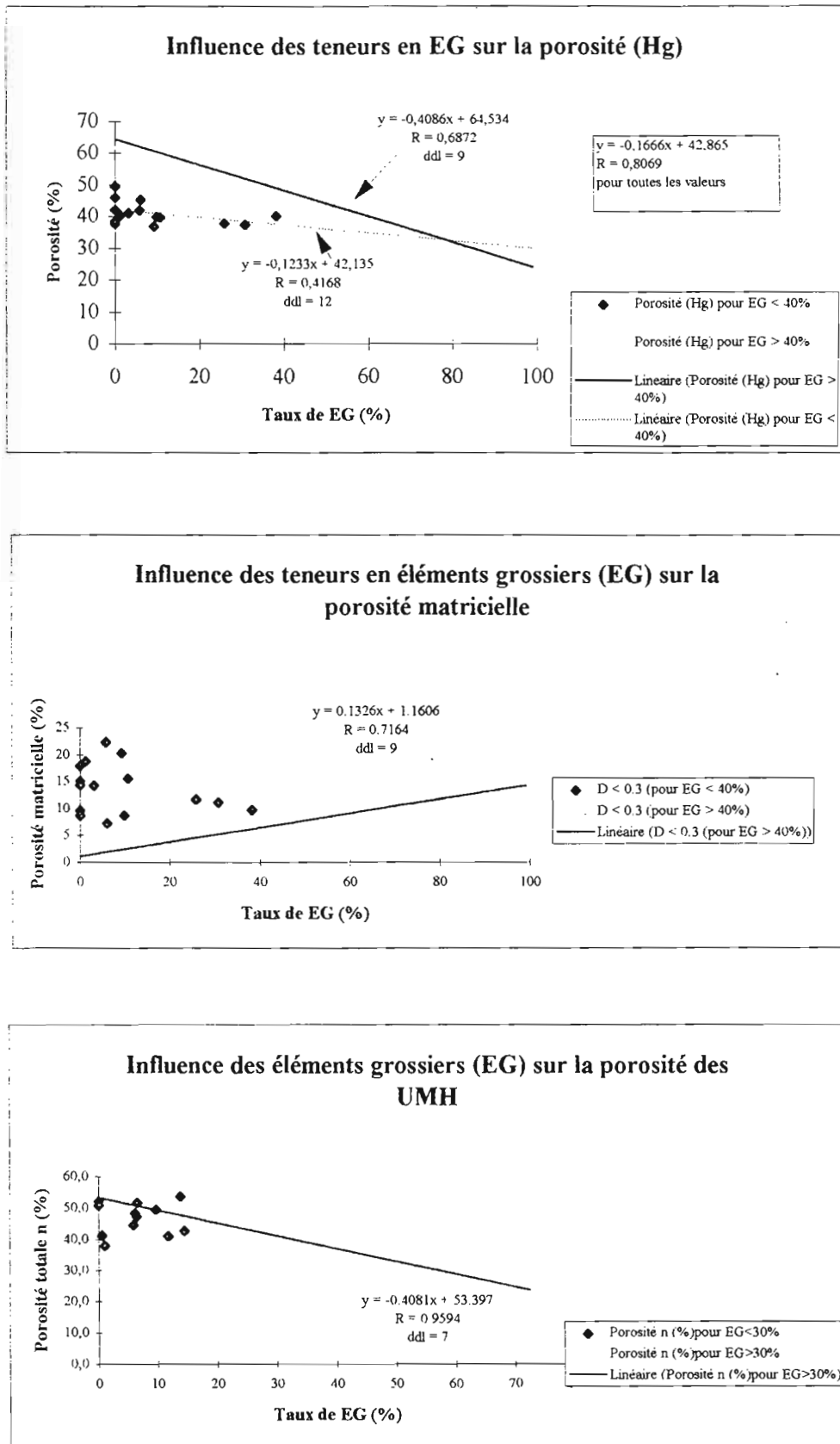


Figure II.3.5 : Influence des teneurs pondérales en éléments grossiers (EG) sur la porosité des unités morphologiques homogènes (UMH)

2. 3. LA POROSITE TOTALE DES UNITES MORPHOLOGIQUES HOMOGENES

2. 3. 1. Comparaison des porosités totales des UMH obtenues par les deux méthodes (méthode par les densités et Porosimétrie à mercure)

Toutes les valeurs des paramètres de porosité sont inscrites en annexe II.3.4.

La comparaison des valeurs de porosité totale (**Hg**) calculée à partir des intrusions de mercure au porosimètre avec celles (**n**) obtenues par la méthode des densités montre que, dans 76 % des cas analysés, la porosité (**Hg**) est inférieure à la porosité (**n**) Tableau II.3.4. Cette différence montre bien que toute la porosité du sol n'est pas prise en compte par le porosimètre à mercure. La porosité non mesurée par le porosimètre et représentée par la différence (**n** - **Hg**) concerne, en principe, le volume des pores de diamètre supérieur à 400 μm (Figure II.3.6).

Ces différences de valeur de porosité montrent que les parcelles traditionnelles TS et Tl comportent beaucoup plus de pores grossiers non pris en compte par le porosimètre à mercure que les autres parcelles cultivées. Ces valeurs (Figure II.3.6) oscillent entre 7 et 10 % pour la parcelle TS et entre 8 et 13 % pour Tl. En deuxième position, viennent les parcelles semi-mécanisées SS et SL où (**n** - **Hg**) varie de 2 à 10 %. (**n** - **Hg**) est plus faible pour les parcelles défrichées totalement au bulldozer MS et ML. Les différences (**n** - **Hg**) respectives sont de l'ordre de 1 % et 5 % pour A2(ms) et A1(ms) de la parcelle non labourée MS et de 0,4 et 3,4 % pour Ap2(ml)c et Ap2(ml)a. Cette porosité grossière (diamètre > 400 μm) qui, après le sol sous forêt, s'avère la plus importante sur les parcelles traditionnelles (TS et Tl), après quatre années de culture, est en accord avec l'activité faunique importante sur ces parcelles. La moins forte proportion de pores grossiers sur les UMH des parcelles mécanisées (MS et ML), quant à elle, va de paire avec la faible activité faunique de ces parcelles.

Les cas où la porosité (**Hg**) est supérieure à la porosité (**n**) (valeurs négatives sur la figure II.3.5) concernent à 80 % les UMH Ap1(sl), B2 et A1(ss), à fort taux d'éléments grossiers (EG > 30 % en proportion pondérale). Ceci s'accorde avec la réduction de la porosité grossière du sol sous l'influence des fortes teneurs en éléments grossiers.

Figure II.3.6 : Différence de valeur entre la porosité totale (n) obtenue par la méthode des densités et la porosité (Hg) obtenue par intrusion de mercure au porosimètre

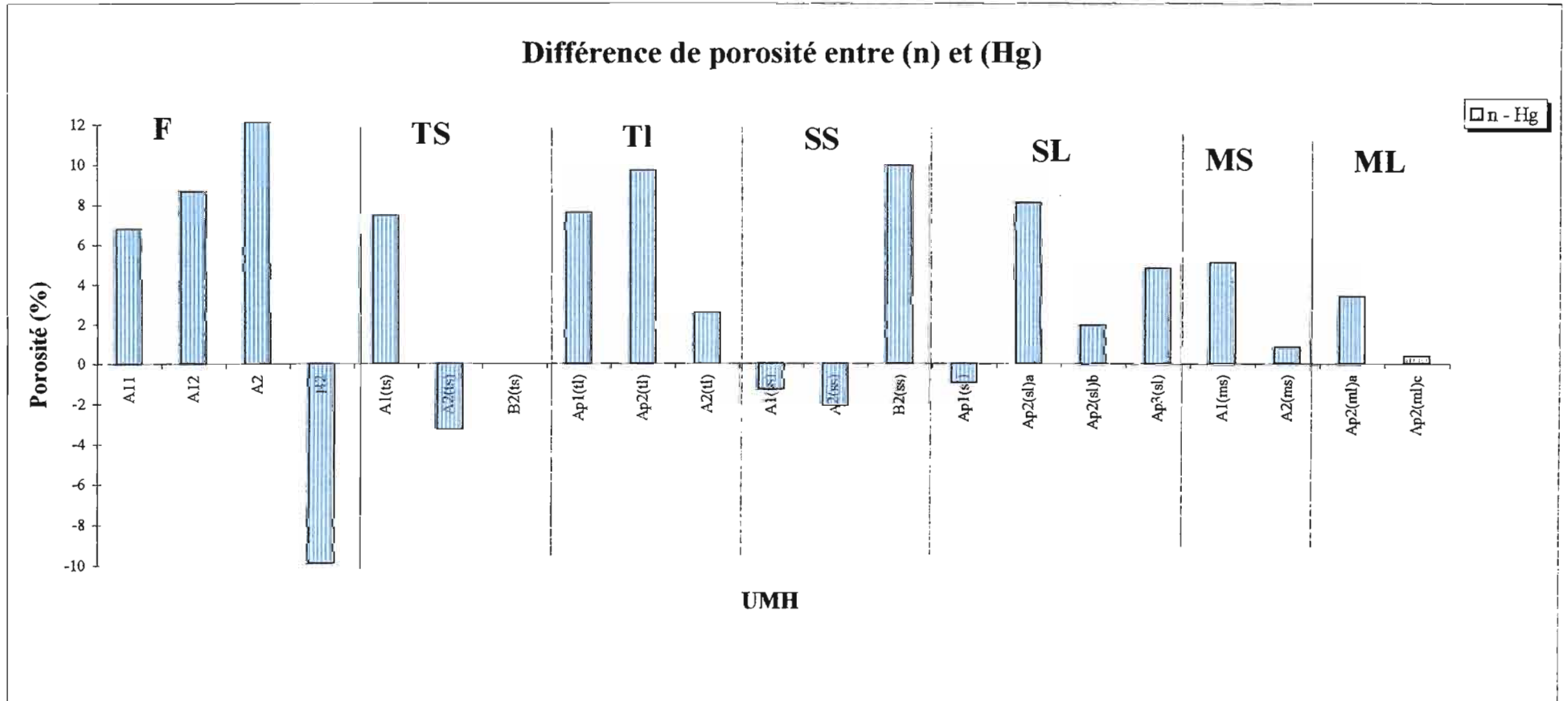


Tableau II.3.4 : Caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH), par la méthode des densités

<i>Parcelles</i>	<i>UMH</i>	<i>Porosité totale (n) (%)</i>	<i>Porosité totale (Hg) (%)</i>
Forêt (F)	<i>A11</i>	52,2	45,4
	<i>A12</i>	51,0	42,3
	<i>A2</i>	49,4	37,3
	<i>B2</i>	26,2	36,1
Traditionnelle sans labour (TS)	<i>A1(ts)</i>	47,4	39,9
	<i>A2(ts)</i>	37,8	41,1
	<i>B2(ts)</i>	42,0	42,0
Semi-mécanisée sans labour (SS)	<i>A1(ss)</i>	48,4	49,7
	<i>A2(ss)</i>	23,4	25,5
	<i>B2(ss)</i>	25,6	15,6
Mécanisée sans labour (MS)	<i>A1(ms)</i>	44,7	39,7
	<i>A2(ms)</i>	41,3	40,4
	<i>B2(ms)</i>		36,9
Traditionnelle avec labour superficiel (TL)	<i>Ap1(tl)</i>	53,7	46,1
	<i>Ap2(tl)</i>	51,8	42,1
	<i>A2(tl)</i>	41,1	38,6
	<i>B2(tl)</i>		28,2
Semi-mécanisée avec labour profond (SL)	<i>Ap1(sl)</i>	36,8	37,7
	<i>Ap2(sl)a</i>	29,6	21,5
	<i>Ap2(sl)b</i>	29,3	27,3
	<i>B2(sl)</i>		19,8
Mécanisée avec labour profond (ML)	<i>Ap1(ml)</i>		40,0
	<i>Ap2(ml)a</i>	42,8	39,4
	<i>Ap2(ml)c</i>	38,1	37,7
	<i>B2(ml)</i>		27,1

2. 3. 2. Variation de la porosité totale selon les situations

Pour cette comparaison entre les différentes situations, seule la porosité totale (n) déterminée par la méthode des densités est prise en compte.

Compte tenu de l'influence des fortes teneurs en éléments grossiers (EG > 30 %), les comparaisons qui suivent sont établies d'abord entre les UMH où la porosité a le moins de chance d'être influencée par les EG en faible teneur (< 15 %). La porosité des UMH riches en EG (> 30 %) est, ensuite, également discutée en tenant compte des valeurs relatives de ces EG. Le tableau II.3.5 regroupe les UMH en deux ensembles selon leur teneur en éléments grossiers, avec les valeurs de porosité (n) correspondantes.

Tableau II.3.5 : Les valeurs de porosité totale (n), sur mottes de 5 cm de diamètre, des unités morphologiques homogènes (UMH) selon les teneurs en éléments grossiers (EG).

a			b		
Pour les teneurs en EG > 30 %			Pour les teneurs en EG < 30 %		
UMH	EG (%)	Porosité n (%)	UMH	EG (%)	Porosité n (%)
B2	62	26	A11	0	52
A2(ts)	34	38	A12	0	51
B2(ts)	32	42	A2	10	49
A2(ss)	72	23	A1(ts)	6	47
B2(ss)	63	26	A1(ss)	6	48
Ap1(sl)	41	37	A1(ms)	5	45
Ap2(sl)a	64	30	A2(ms)	1	41
Ap2(sl)b	64	29	Ap1(tl)	14	54
			Ap2(tl)	7	52
			A2(tl)	12	41
			Ap2(ml)a	14	43
			Ap2(ml)c	1	38

D'une manière générale (Tableau II.3.5 b) les valeurs de porosité totale baissent d'une part, du haut vers le bas du profil, pour le sol sous témoin forestier (F) et celui des parcelles mises en culture sans labour (TS, SS et MS) et, d'autre part, de la forêt (F) aux parcelles cultivées, pour les horizons de surface.

Sur la parcelle témoin F, les valeurs sont de l'ordre de 52 %, 51 % et 49 % dans les horizons de surface A11, A12 et A2. Cette diminution de la porosité concorde avec la structure moins développée et la cohésion plus forte du sol en profondeur. Cependant, l'écart très important entre la porosité, 2 fois plus faible, de l'horizon B2 (Tableau II.3.5 a) par rapport à celles des horizons supérieurs A11, A12, A2 est à lier à l'abondance des éléments grossiers (62 %) dans cet horizon, comme nous l'avons signalé plus haut au paragraphe (2.3.1).

L'*effet du défrichement* sans labour se traduit, quel qu'en soit le mode, par une baisse de la porosité dans les deux premiers horizons A1(ts, ss ou ms) et A2(ts, ss ou ms) des parcelles traditionnelles, semi-mécanisées ou mécanisées (TS, SS ou MS) par rapport à celles de A11, A12 et A2 sous forêt (Tableau II.3.5 b). Cette baisse de porosité est plus importante sur les parcelles entièrement mécanisées (MS) où la différence de porosité entre A1(ms) et A12 et entre A2(ms) et A2 sous forêt est de l'ordre de 6 et 8 %. La diminution de la porosité est plus faible pour les parcelles traditionnelles (TS) et les semi-mécanisées (SS).

Les mesures n'ont pu être faites pour toutes les situations sur les horizons B2 de profondeur. Cependant, d'après les mêmes valeurs (26 %), à la fois, pour B2 sous forêt (F) et B2(ss) sous parcelle semi-mécanisée (SS), de teneurs en éléments grossiers comparables (62 et 63 %), on peut déduire que la porosité est plus faible que dans les horizons de surface, mais n'y est pas affectée par le défrichement. La valeur de porosité plus élevée pour B2(ts) est à rapprocher de la teneur relativement plus faible (32 %) en éléments grossiers dans la motte issue de cet horizon (Tableau II.3.5 a).

Pour ce qui est de l'*effet du labour*, les valeurs de porosité des unités morphologiques homogènes (UMH) semblent concorder avec leur état structural et leur cohésion. Ainsi, pour chaque situation de labour, les UMH peu cohérentes Ap1(tl) (54 %), Ap2(tl) (52 %) de Ap2(ml)a (43 %) apparaissent les plus poreuses, les valeurs étant semblables à celles des horizons de surface A11 et A12 du sol sous couvert forestier (Tableau II.3.5 b). Ap2(ml)c, plus compact, présente la plus faible porosité (38 %). Il est difficile, par contre, de juger de l'effet du labour sur les UMH Ap des parcelles semi-mécanisées (SL) ; elles présentent les plus faibles porosités parmi les UMH

remaniées, malgré leur état fragmentaire et leur faible cohésion, sans doute à cause de la forte concentration en éléments grossiers (41 à 64 %) (Tableau II.3.5 a).

A ce stade, il n'est pas aisé d'émettre des conclusions plus précises et définitives sur l'effet des traitements (défrichage ou travail du sol) à partir de la porosité globale. L'examen du spectre poral obtenu par intrusion de mercure permettra de mieux cerner l'effet des traitements sur les caractères de l'espace poral des UMH.

2. 4. LES CARACTERISTIQUES PORALES DES UMH D'APRES LES MESURES AU POROSIMETRE A MERCURE

Ici également, compte tenu de l'influence des fortes teneurs en éléments grossiers ($EG > 40\%$) sur le volume poral déterminé au porosimètre à mercure, les comparaisons des caractéristiques porales sont établies uniquement entre les UMH appartenant au même groupe de teneur en éléments grossiers (taux de EG inférieur à 40 %). Le tableau II.3.6 regroupe les UMH selon leur teneur en éléments grossiers, avec les caractéristiques porales correspondantes.

Tableau II.3.6 : Les valeurs de porosité (Hg) UMH selon les teneurs en éléments grossiers (EG) sur les échantillons de 2 à 3 cm³ de volume

a			b		
Teneurs en EG > 40 %			Teneurs en EG < 40 %		
UMH	EG (%)	Porosité (Hg)	UMH	EG (%)	Porosité (Hg)
A12	51,2	42,3	A11	6,0	45,4
B2	93,9	36,1	A2	30,7	37,3
A2(ss)	84,9	25,5	A1(ts)	10,0	39,9
B2(ss)	99,0	15,6	A2(ts)	3,1	41,1
B2(tl)	95,3	28,2	B2(ts)	5,8	42,0
Ap2(sl)a	96,3	21,5	A2(ms)	1,2	40,4
Ap2(sl)b	77,7	27,3	A1(ms)	10,7	39,7
B2(sl)	98,5	19,8	B2(ms)	9,3	36,9
Ap2(ml)a	82,2	39,4	A1(ss)	0,0	49,7
B2(ml)	95,1	27,1	Ap1(tl)	0,0	46,1
			Ap2(tl)	0,0	42,1
			A2(tl)	0,0	38,6
			Ap1(sl)	25,9	37,7
			Ap1(ml)	38,2	40,0
			Ap2(ml)c	0,0	37,7

Les courbes de distribution porale (ou spectre poral) sont obtenues à partir de la dérivée des courbes d'intrusion cumulée selon la formule :

$$\text{Dérivée} = (V1 - V2)/(\text{Log}_{10}D1 - \text{Log}_{10}D2) = dV/d\text{Log}D$$

Avec D1 et D2 : des diamètres poraux successifs, V1 et V2 : des volumes poraux contigus, V1-V2 : variation de volume d'intrusion de V1 à V2.

Les différents pics sur la courbe dérivée correspondent à des niveaux de pénétration de mercure dans l'échantillon, sous l'effet de la pression, en fonction des diamètres poraux accessibles. Ces niveaux sont représentés par les zones de fortes pentes sur la courbe cumulée (figure II.3.7).

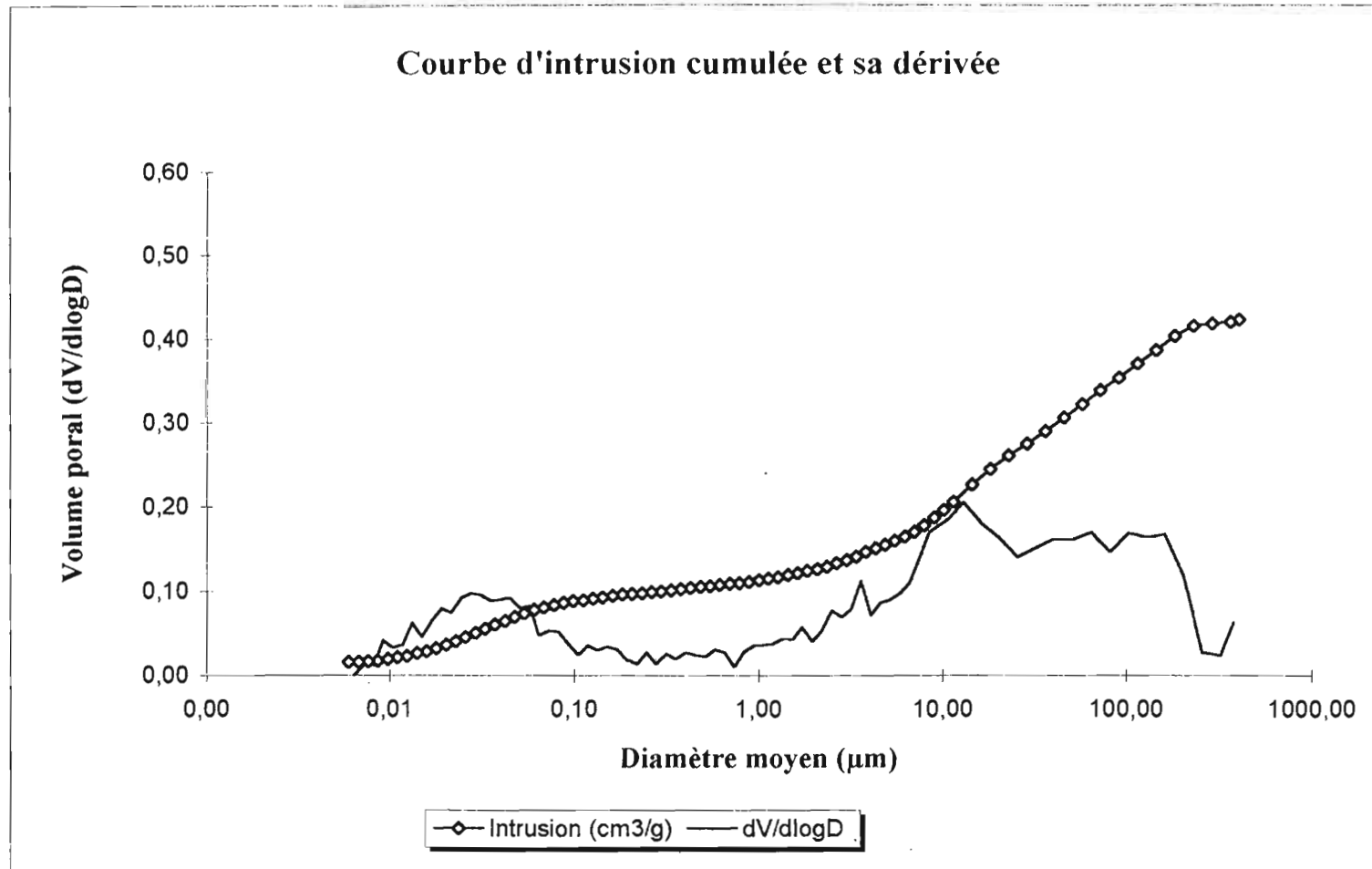


Figure II.3.7: Courbe d'intrusion cumulée et spectre poral (dV/dlogD) de l'horizon A12 sous témoin forestier

2. 4. 1. Les classes porales

Les spectres poraux présentent des répartitions porales qui diffèrent d'une UMH à l'autre au sein d'une situation donnée et d'un traitement à l'autre.

Comme on peut le voir sur la figure II.3.8, où les courbes de distribution porale de la situation ML sont données à titre d'exemple, ces courbes présentent deux modes principaux séparant la porosité en deux grandes classes de pores, de part et d'autre d'un diamètre moyen (D) de l'ordre de $0,3\ \mu\text{m}$ (Figure II.3.8). Cette valeur de diamètre est comparable à celle observée sur d'autres sols ferrallitiques (CARVALHO et *al.*, 1991 ; HARTMAN, 1991) ou ferrugineux (COLLEUILLE, 1993). Elle est liée à la nature du matériel pédologique.

La *première classe* ($D < 0,3\ \mu\text{m}$) correspond à la porosité matricielle développée en général par l'assemblage des particules les plus fines du sol (particules argileuses) comme l'ont montré de nombreux auteurs dont FIES (1984). Le mode se situe à une valeur moyenne de diamètre de $0,04\ \mu\text{m}$, relativement constante. Cette porosité est fortement liée à la teneur en argile et aussi aux forts taux d'éléments grossiers supérieurs à 50 %.

La *seconde classe* ($D > 0,3\ \mu\text{m}$) correspond à la porosité ménagée par l'assemblage des agrégats entre eux (micro, méso et macroporosité). Cette partie des courbes présente souvent une allure plurimodale plus ou moins prononcée qui permet d'identifier trois sous-classes de pores, encadrées par des valeurs seuils ($0,3 - 6\ \mu\text{m}$; $6 - 35\ \mu\text{m}$ et $35 - 400\ \mu\text{m}$) qui se recoupent assez bien pour les différentes UMH (Figure II.3.8).

Ces valeurs limites sont en bonne concordance avec celles, fonctionnelles (Tableau II.3.7), définies par CHAMAYOU et LEGROS (1989) puis par KAY (1990). Elles permettent de caractériser le spectre poral des UMH selon quatre classes de pores qui, en allant de la porosité la plus fine à la plus grossière, correspondent à la :

- porosité matricielle : domaine des pores de diamètre $< 0,3\ \mu\text{m}$, gérant la réserve en eau intercrystalline non disponible aux plantes. C'est le domaine de succion pF 4,2, correspondant au point de flétrissement permanent des plantes;
- microporosité : pores de diamètres compris entre $0,3$ et $6\ \mu\text{m}$, correspond au domaine de réserve en eau utile du sol et à la limite inférieure du diamètre des pores accessibles aux chevelus racinaires;
- mésoporosité : $6 - 35\ \mu\text{m}$ correspond à l'espace poral requis pour le drainage de l'eau du sol;

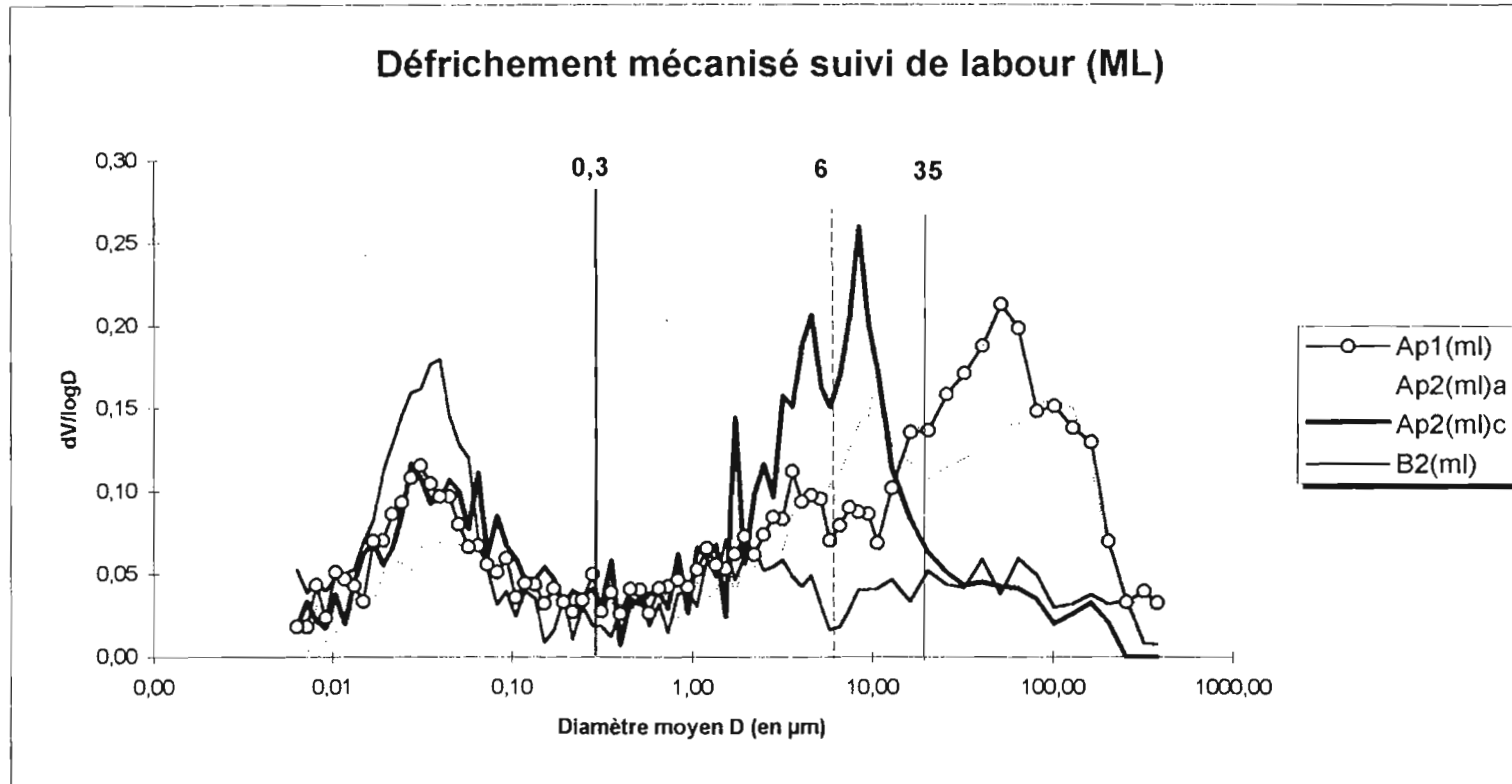


Figure II.3.8 : Distribution porale des unités morphologiques homogènes (UMH) sous traitement mécanisé et labouré

Tableau II.3.7 : Comparaison entre les classes de pore observées et celles fonctionnelles définies par Chamayou et Legros (1989) et par Kay (1990).

<i>Types de classe de pore</i>	<i>Classes Observées diamètres (μm)</i>	<i>Classes Théoriques diamètres (μm)</i>	<i>Fonctions hydriques</i>	<i>Fonctions biologiques</i>
Macroporosité	35 - 400	> 2000	Aération	Vers de terre autres faunes Traces de racinelles
Mésoporosité		200 - 2000		
	6 - 35	60 - 200	Drainage rapide	Limites de chevelus racinaires
		20 - 60	Drainage lent	
	0,3 - 6	6 - 20	Drainage très lent,	
Microporosité	0,3 - 6	0,2 - 6	Essentiel de la RU	
Porosité matricielle	< 0,3	<0,2	pF 4.2 Eau adsorbée et eau intercrystalline	

- macroporosité 35 - 400 μm ; domaine des pores utiles pour l'aération et du drainage rapide du sol.

Il existe cependant des pores de diamètre supérieur à 400 μm , non mis en évidence par cette technique, représenté par la différence entre les valeurs de porosité totale (n) et celle de la porosité (Hg) (Cf. chapitre III. II.3. 1).

2. 4. 2. Comparaison des spectres poraux des UMH selon les différents traitements

Les valeurs des quatre classes de diamètres de pores mettent bien en lumière les différences de spectres poraux des UMH (Tableau II.3.8) et l'effet de la mise en culture par la comparaison des UMH issues des parcelles cultivées aux horizons sous forêt. On peut aussi, pour faciliter cette comparaison en s'affranchissant, autant qu'il se peut, de l'influence des graviers existants en proportion variable dans les différents échantillons sur la valeur de la porosité totale, s'appuyer sur les volumes relatifs des classes porales exprimés en pourcentage de la porosité totale pour chaque UMH (Figure II.3.9). Il s'agit donc strictement, dans ce cas, d'une comparaison de l'importance relative des différentes classes de pores qui constituent le spectre poral. On trouve dans cette étude, une bonne convergence des conclusions avec celles que l'on peut tirer de l'analyse du tableau II.3.8.

Effet du défrichement

Le passage de la forêt à la *défriche traditionnelle* (TS) est marqué par une réduction des pores de diamètre supérieur à 6 μm (mésoporosité et macroporosité) utiles à l'aération, à l'écoulement rapide de l'eau (Figure II.3.9 et Tableau II.3.8). Cette baisse est de l'ordre de 20 , 15 et 34 %, respectivement dans les horizons A1(ts), A2(ts) et B2(ts) par rapport à A1, A2 et B2 sous forêt. A l'inverse, la porosité inférieure à 6 μm de diamètre, déterminant la capacité de rétention en eau utile et en eau liée du sol, s'accroît de l'ordre de 17 , 8 et 25 % dans ces horizons A1(ts), A2(ts) et B2(ts) de la parcelle traditionnelle sans labour TS.

Le *défrichement semi-mécanisé* suivi de la mise en culture *sans labour* (SS) montre une légère amélioration de la porosité utile à l'aération et à l'écoulement rapide du sol et l'activité de la mésofaune (Figure II.3.9). Mais l'augmentation (13 %) de la macroporosité (35 - 400 μm de

Tableau II.3.8 : Répartition de la porosité (cm³/g) selon différentes classes de diamètre poral

Traitements	UMH	Classes de diamètres de pores (µm)			
		< 0.3 Matricielle	0.3 - 6.0 Microporosité	6 - 35 Mésoporosité	35 - 400 Macroporosité
Forêt (F)	A11	7,20	7,02	15,27	15,91
	A12	9,94	6,52	12,51	13,35
	A2	11,18	7,12	11,04	7,99
	B2	14,20	6,54	7,33	8,01
Traditionnel sans labour (TS)	A1(ts)	8,67	7,91	15,27	10,72
	A2(ts)	14,24	7,98	11,29	7,43
	B2(ts)	22,38	9,55	3,02	5,96
Semi-mécanisé sans labour (SS)	A1(ss)	9,64	7,25	14,83	18,12
	A2(ss)	10,09	3,82	6,56	5,10
	B2(ss)	9,92	1,77	1,51	2,44
Mécanisé sans labour (MS)	A1(ms)	15,56	12,04	7,91	4,14
	A2(ms)	18,83	10,22	6,32	5,06
	B2(ms)	20,25	9,18	4,60	2,84
Traditionnel avec labour superficiel (TL)	Ap1(tl)	8,73	10,07	10,57	16,69
	Ap2(tl)	14,42	12,33	6,45	8,73
	A2(tl)	17,94	10,79	4,59	5,23
	B2(tl)	15,73	5,30	2,75	4,45
Semi-mécanisé avec labour profond (SL)	Ap1(sl)	11,69	8,09	14,04	3,91
	Ap2(sl)a	9,54	4,23	4,75	5,08
	Ap2(sl)b	8,19	5,37	8,63	5,34
	B2(sl)	11,09	3,42	2,37	2,75
Mécanisé avec labour profond (ML)	Ap1(ml)	9,76	7,91	9,18	13,21
	Ap2(ml)a	11,73	6,92	9,55	11,19
	Ap2(ml)c	15,12	11,10	8,84	2,61
	B2(ml)	14,93	5,26	3,04	3,80

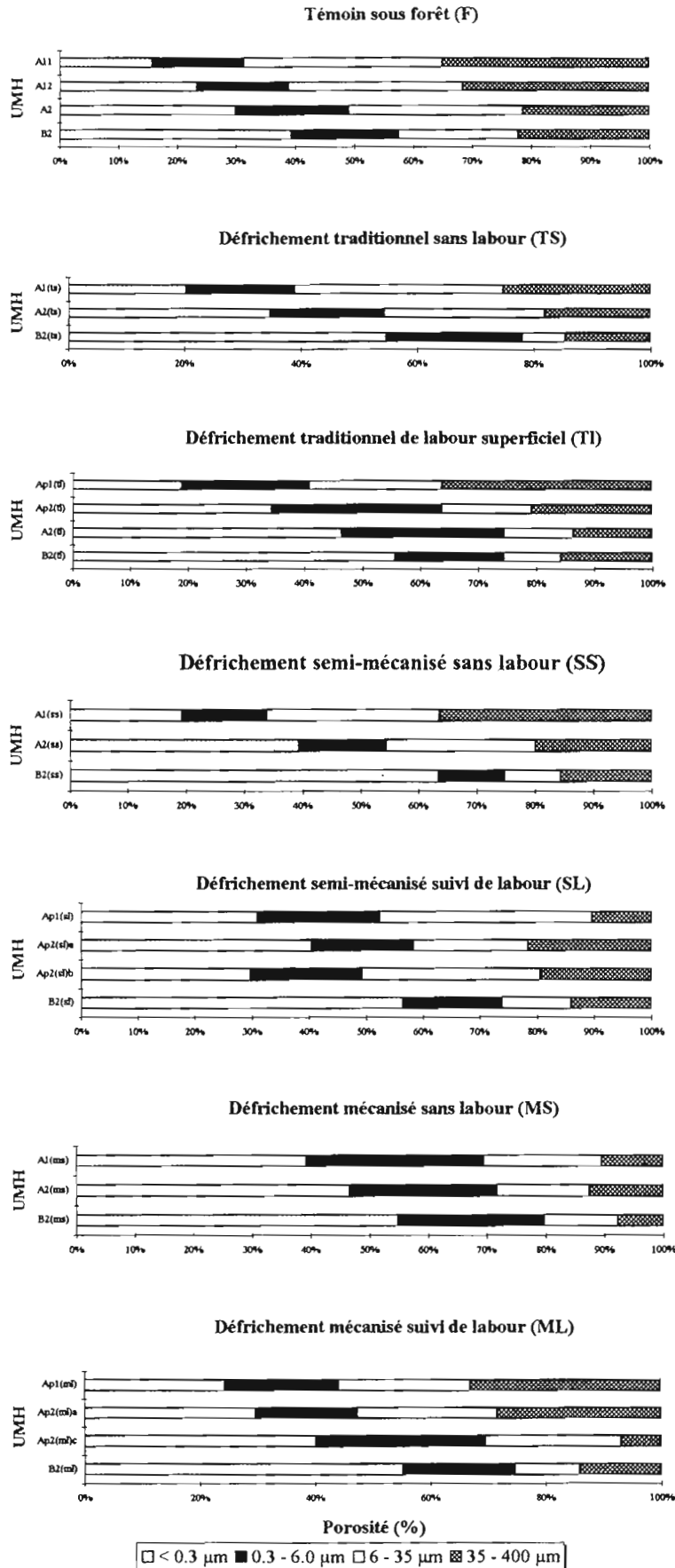


Figure II.3.9 : Impact du défrichement et de la mise en culture avec ou sans labour sur l'espace poral.

diamètre poral) se limite seulement au premier horizon de surface A1(ss). Elle n'est pas observée dans les deux autres A2(ss) et B2(ss) qui révèlent plutôt une diminution de 7 et 30 %.

L'impact du *défrichement mécanisé* et de la mise en culture *sans labour du sol (MS)* apparaît plus marqué que dans le cas du défrichement traditionnel et du défrichement semi-mécanisé. Il se manifeste, quel que soit l'horizon, par une diminution de la méso et de la macroporosité et par un accroissement de la microporosité et de la porosité matricielle. La baisse de la macroporosité est de l'ordre de 67 %, 40 % et 65 % respectivement pour A1(ms), A2(ms), et B2(ms) par rapport à A12, A2 et B2 ; celle de la mésoporosité est de l'ordre de 40% dans les trois cas (Figure II.3.9).

*

Les trois situations de défrichement traditionnel (TS), semi-mécanisé (SS) ou entièrement mécanisé (MS) sans labour ont entraîné des modifications du spectre poral des UMH ou horizons A1, A2 et B2 du sol forestier initial. L'ampleur de ces modifications est fonction des transformations ou des contraintes subies par le sol au cours et à la suite du défrichement. Ces modifications du spectre poral concordent également avec les caractères structuraux des UMH qui apparaissent moins fragmentées et plus cohérentes dans l'ordre croissant, de la forêt aux parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et mécanisées ($F < T < S < M$) (Cf. chapitre III. I.3). Dans tous les cas, on note une baisse de la macroporosité et de la mésoporosité (pores de Diamètre $> 6 \mu\text{m}$) allant de paire avec une augmentation de la porosité fine (pores de faible diamètre $< 6 \mu\text{m}$) (Figure II.3.10). Cette diminution du volume des pores par lesquels s'effectuent la circulation des fluides, l'aération et le drainage peut avoir des répercussions négatives sur l'enracinement et le développement du maïs, même si la microporosité ($0,3 - 6 \mu\text{m}$) qui détermine la capacité de rétention en eau utile augmente. Ces caractères poraux pourraient être une cause du faible développement racinaire et des plants de maïs plus chétifs sur les parcelles non labourées. L'étude qualitative de la distribution racinaire du maïs dans le profil cultural selon les UMH nous permettra de clarifier cette hypothèse.

Effet du travail du sol

Le *labour superficiel* sur les parcelles *traditionnelles (tl)* a entraîné un accroissement de la macroporosité dans l'UMH Ap1(tl), de l'ordre de 30 % par rapport à l'horizon A1(ts) de la parcelle traditionnelle contiguë non labourée.

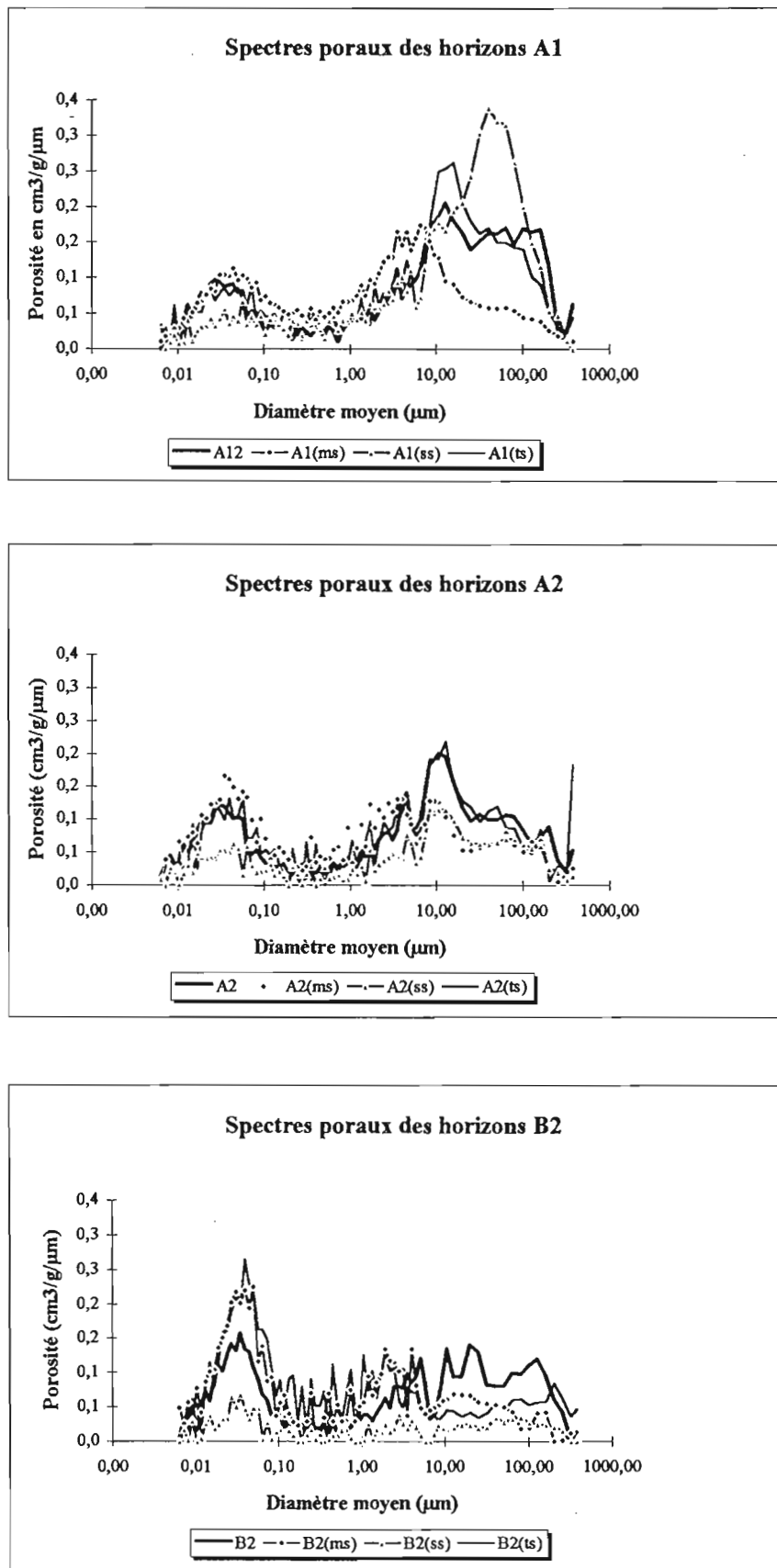


Figure II.3.10 : Comparaison de l'effet du défrichage sur la distribution porale des horizons en place des différents traitements sans labour

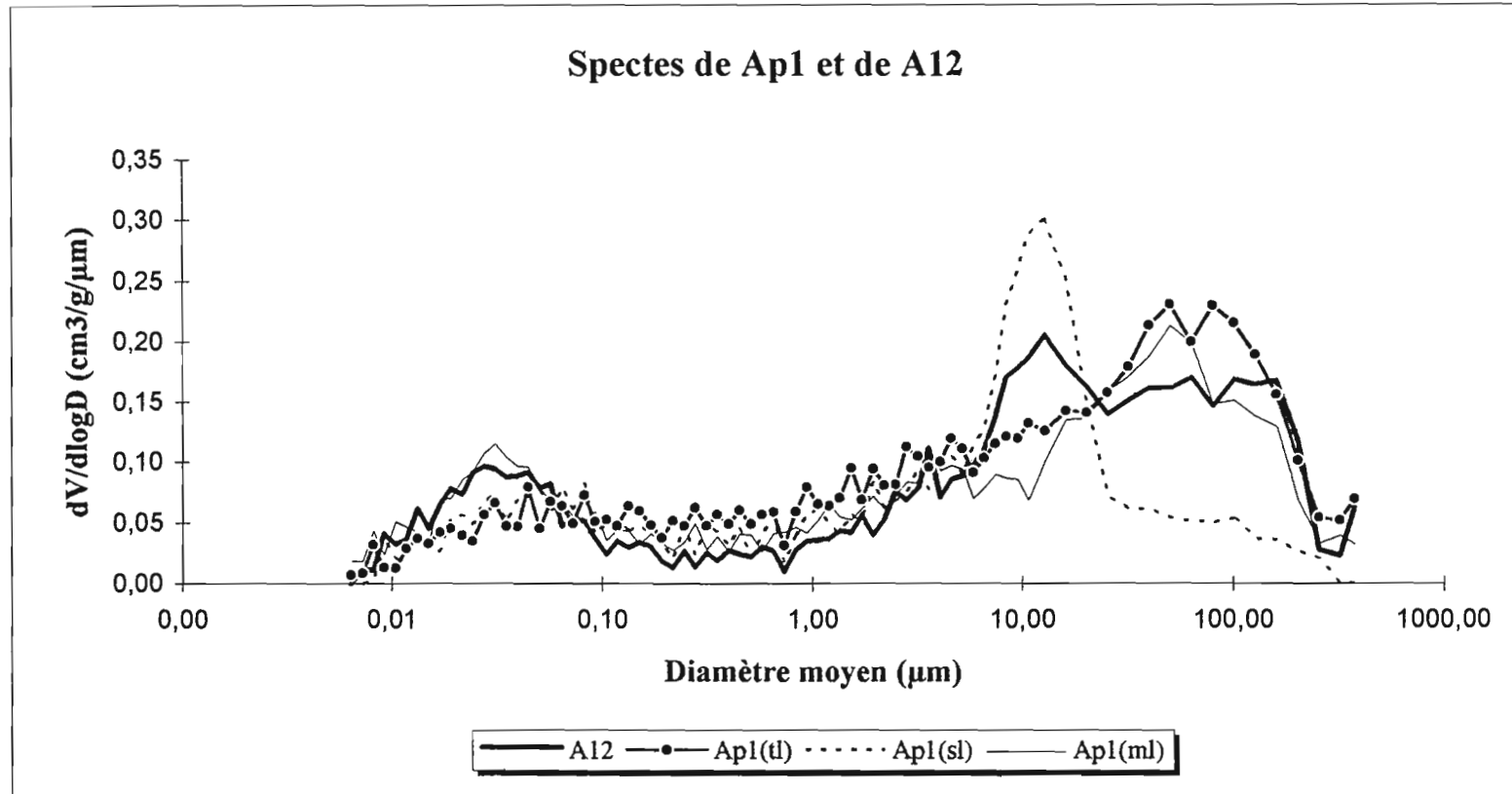


Figure II.3.11 : Comparaison des spectres poraux des UMH Ap1 des parcelles labourées à l'horizon de surface A12 sous forêt

La mésoporosité diminue de 36 %. Et la microporosité (0,3 - 6 μm de diamètre) augmente respectivement de 15 %, par rapport à la valeur de A1(ts). La porosité matricielle (pores de diamètre inférieur à 0,3 μm), quant à elle, présente une proportion nettement plus faible que celle de A1(ts) (Figure II.3.9). En somme, le spectre poral (Figure II.3.11) apparaît quelque peu semblable à celui de A12 sous forêt avec deux pics maximums autour de 50 et 100 μm de diamètre.

Pour les autres UMH : Ap2(tl), A2(tl) et B2(tl), le labour superficiel ne se traduit pas par une distribution porale meilleure que celle des UMH de profondeur équivalente la parcelle non labourée. Elles évoluent toutes de la même manière, par rapport à la forêt (horizons A12, A2 et B2). Ces UMH présentent des proportions de macropores et de mésopores (diamètre > 6 μm) relativement faibles. En compensation, la microporosité et la porosité matricielle (diamètre < 6 μm) augmentent. Malgré le décalage des pics du spectre poral de l'UMH Ap2(tl) vers les pores de grand diamètre (150 μm), la faible intensité des pics souligne sa proportion plus faible en macropores par rapport à celle de Ap1(tl) (42 %) et à celle de A1(ts) (17 %) de la parcelle non labourée TS, à profondeur équivalente et de même matériel pédologique initial (Cf. chapitre III. I.3).

L'horizon A2(tl) présente des valeurs de macroporosité et de mésoporosité très réduite (Figures II.3.9 et 12), dans l'ordre respectif de 25 % et de 57 % par rapport à son homologue A2(ts) de la parcelle non labourée. En revanche, la microporosité et la porosité matricielle augmentent fortement par rapport à la forêt et à la parcelle non labourée. Ceci révélerait un effet de tassement sur cet horizon A2(tl) sous l'effet du labour. Cet horizon peut constituer un obstacle au développement racinaire compte tenu de l'environnement peu aéré qu'il offre dans le profil.

L'appréciation de l'effet du *labour profond* sur parcelle de défrichement *semi-mécanisé* (SL) est difficile, à cause de la forte proportion en éléments grossiers (> 30 %) dans les UMH de cette situation (Tableau II.3.6). Malgré l'état d'ameublissement observé sur le terrain, les UMH de la couche labourée Ap1(sl) et Ap2(sl) a et b présentent une diminution de porosité grossière (mésos + macros) par rapport à l'UMH A1(ss) sous défrichement identique mais non labouré (ss) ; la porosité fine (< 6 μm) étant au contraire accrue. Le spectre poral de ces UMH se rapproche plutôt de celui de l'horizon A2(ss). On peut voir à ce type de résultat laissant apparaître une réduction de porosité grossière, un effet de la forte teneur en élément grossier, même pour Ap1(sl) qui ne contient que 25 % de EG.

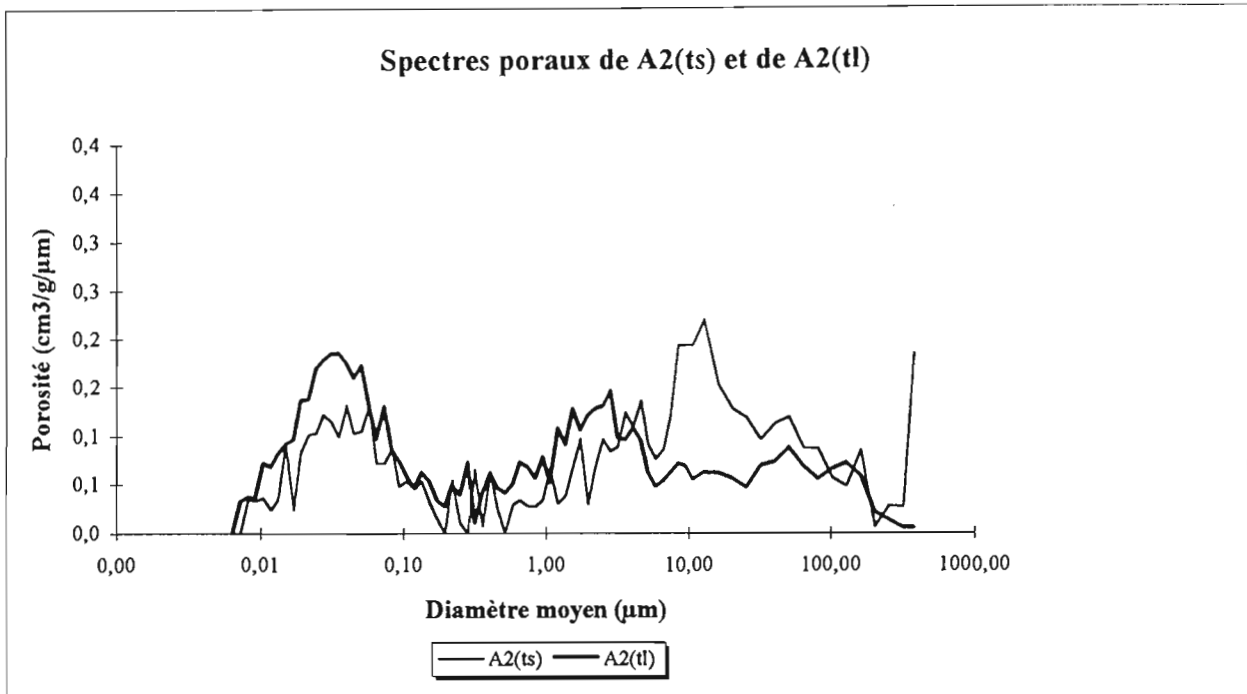


Figure II.3. 12: Comparaison du spectre poral de l'UMH A2(tl) de la parcelle TL à celui de A2(ts) de la parcelle non labourée (TS)

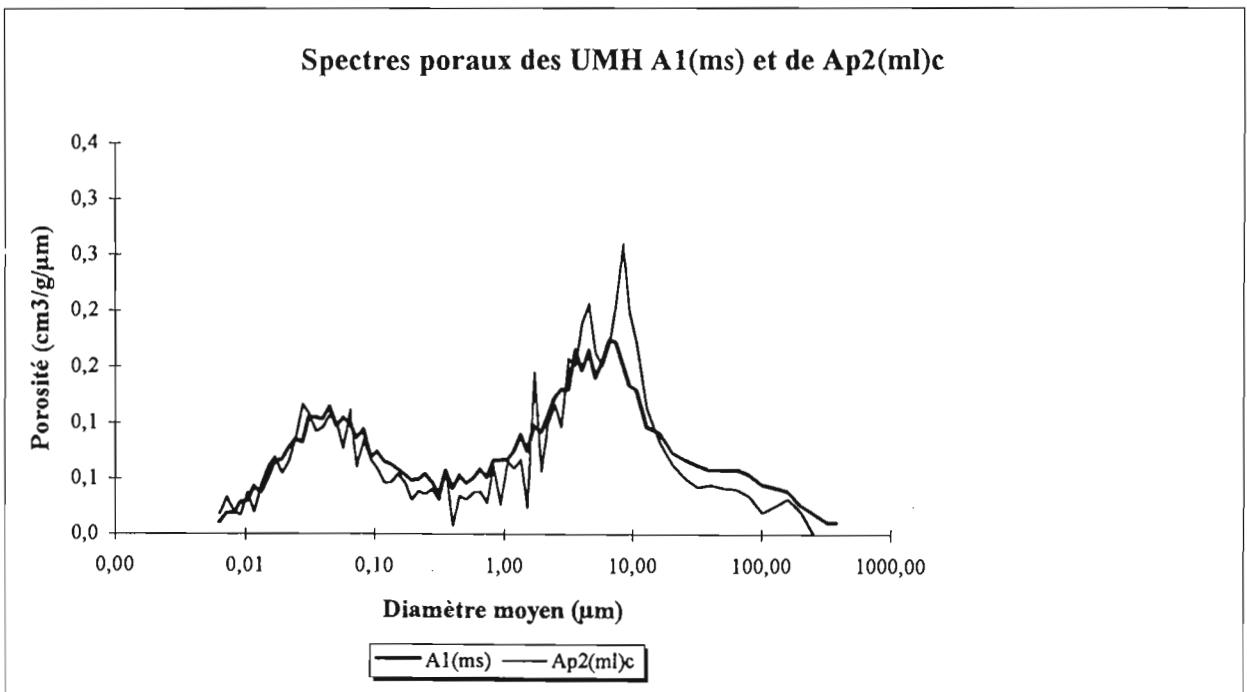


Figure II.3.13: Comparaison du spectre poral de l'UMH Ap2(ml)c compacte de ML à celui de A1(ms) de surface sur la parcelle non labourée (MS)

Avec la pratique du *labour profond* sur en *ML*, on maintient une macroporosité et une mésoporosité importante dans Ap1(ml) et Ap2(ml)a, tandis que la microporosité et la porosité matricielle restent plus faibles (Figure II.3.9). Au total, le spectre poral de ces deux UMH se trouve proche de celui de A12 et A2 sous forêt. L'UMH compacte Ap2(ml)c se distingue par une porosité plus importante dans les classes des pores de diamètre inférieur à 6 μm et en revanche plus faible pour les classes de pores de grand diamètre (35-400 μm). Sa distribution porale s'apparente à celle de A1(ms) de la parcelle non labourée (Figures II.3.13). Ce qui renforce l'idée précédemment émise sur l'origine de ce type de UMH, en rapport avec l'existence de phénomènes de compaction de la partie supérieure du sol.

Pour toutes les situations de labour, comme dans les autres situations de parcelles cultivées sans labour, on constate au niveau de l'ancien horizon B2 forestier en place, une réduction plus importante du volume des pores de diamètre supérieur à 6 μm et une forte augmentation de la porosité matricielle. Cette évolution peut s'expliquer par la réduction de l'activité faunique et par la possibilité de colmatage des pores grossiers par des particules fines contenues dans les eaux d'infiltration.

*

L'effet du labour sur les caractéristiques porales du profil apparaît, comme dans le cas des parcelles non labourées, lié également aux caractères structuraux des UMH. L'horizon labouré, avec la présence des UMH Ap, de structure fragmentaire et de faible cohésion, présente des spectres poraux plus étalés couvrant, ainsi, l'ensemble de la porosité fonctionnelle du sol (macroporosité, mésoporosité et microporosité). Ceci offre un environnement poral bien meilleur à celui des parcelles non labourées. Les caractéristiques porales de ces UMH, notamment celles de Ap1(tl), Ap1(sl), Ap2(sl)b, Ap1(ml), Ap2(ml)a sont semblables à celles des horizons de surface A12 et A2 du témoin forestier. Le labour profond offre un meilleur environnement poral, en comparaison du labour superficiel pratiqué sur les parcelles traditionnelles (tl), de par le volume de terre et la profondeur remaniée, avec une proportion importante d'UMH plus poreux. Ceci justifie l'enracinement relativement plus profond du maïs sur ces parcelles labourées au tracteur. Les effets positifs du labour superficiel se limitent aux 12 premiers cm du sol occupés par les UMH Ap1(tl) et Ap2(tl). Au delà de cette profondeur, la présence de l'horizon A2(tl) en place, de spectre poral resserré constitue un front de labour qui représenterait une barrière à la pénétration racinaire.

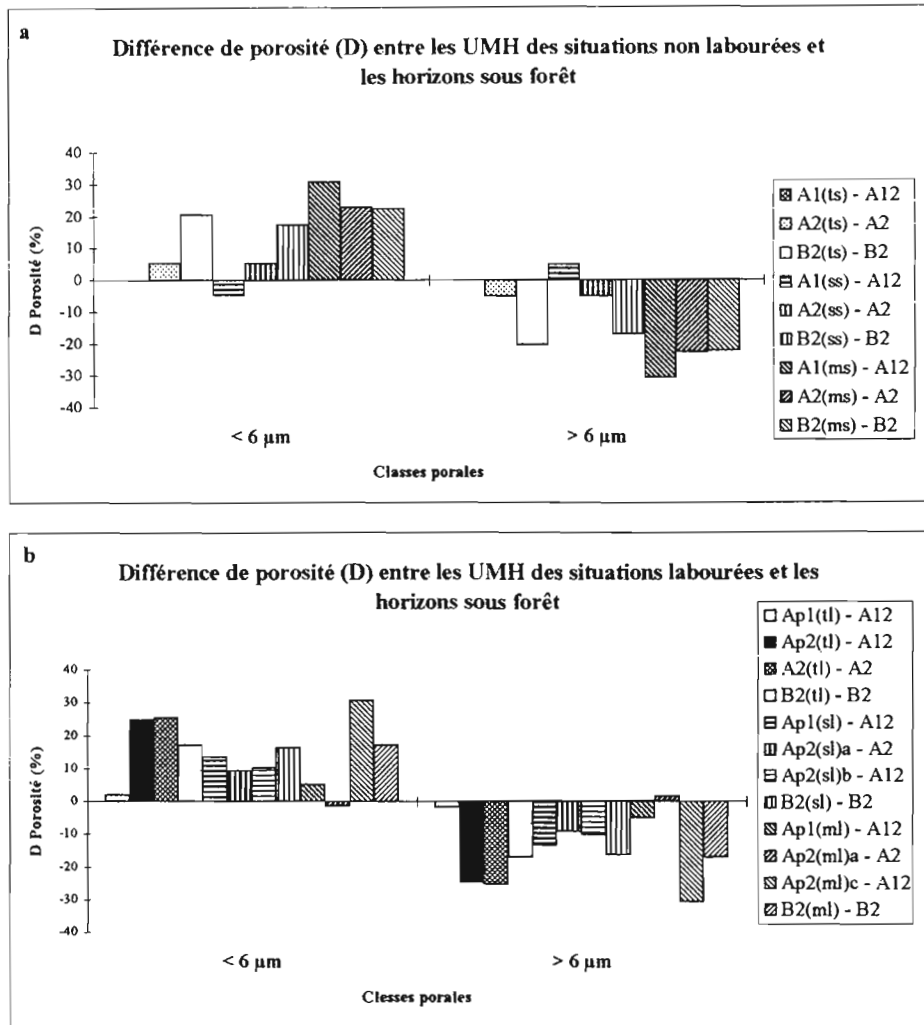


Figure II.3.14: Effet de la mise en culture sans (a) ou avec (b) labour sur les caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH) pour les six situations étudiées

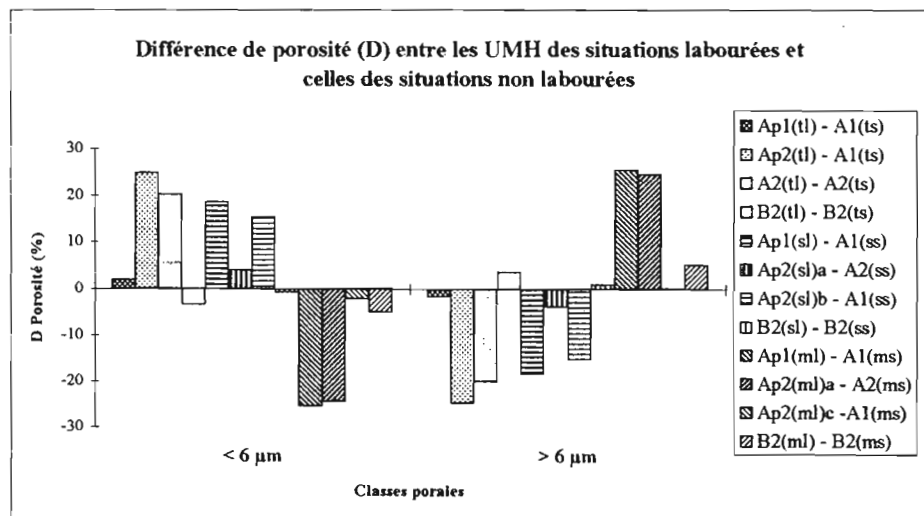


Figure II.3.15 : Effet du labour sur les caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH)

Cet horizon peut donc limiter l'enracinement à une faible profondeur, comme cela a été observé lors de l'étude l'enracinement sur parcelle globale (Cf. chapitre I.3.2). Sur ces parcelles traditionnelles labourées superficiellement, en effet, l'enracinement du maïs n'est guère plus profond que sur les non labourées.

Il ressort de la comparaison entre les caractéristiques du spectre poral, des situations de sol cultivé avec le sol sous témoin forestier (Figure II.3.14), d'une part et, entre les situations de culture sans labour et celles avec labour, d'autre part (Figure II.3.15), que :

- la mise en culture a entraîné une diminution de la porosité grossière (pores de diamètre $> 6 \mu\text{m}$) de l'ordre de 5 à 30 % dans toutes les situations de mise en culture avec ou sans labour, par rapport au sol sous forêt témoin (Figure II.3.14 a et b). En compensation, la porosité fine augmente dans les mêmes proportions. Ce qui montre que, dans tous les cas, en dehors du couvert forestier, l'espace poral se réduit avec l'évolution du sol vers des structures moins développées comme nous l'avons constaté lors de l'examen du profil cultural (cf. chapitre III. I.3);

- l'effet bénéfique du labour profond a permis de récupérer (Figure II.3.15) de la porosité grossière ($> 6 \mu\text{m}$) dans les UMH Ap1(ml) sur les parcelles mécanisées (ML);

- le labour superficiel pratiqué sur les parcelles traditionnelles n'a pas entraîné de modification notable de la porosité du sol, par rapport à la situation de système traditionnel sans labour du fait de la proportion de mésopores (6 - 35 μm) bien supérieure dans les horizons A1(ts) de la parcelle non labourée (TS). Par contre, la proportion plus élevée en macropores ($> 35 \mu\text{m}$) dans les UMH Ap1(tl) et Ap2(tl) (Figure II.3.9) offre au sol labouré superficiellement de bonnes conditions d'aération nécessaires au développement du maïs, par rapport au sol non labouré;

- il demeure le cas insoluble lié à la présence des éléments grossiers dans les UMH issues des parcelles semi-mécanisées, dont les fortes concentrations dans les échantillons analysés ne permettent pas de déduire de manière précise les effets des pratiques culturales de ceux liés à l'interférence des éléments grossiers sur les caractéristiques porales. Cependant, l'aspect fragmentaire des UMH Ap(s) nous amène à supposer que le labour a permis un accroissement de l'espace poral dans la couche remaniée, mais masqué par la forte concentration en éléments grossiers. En effet, dans les autres situations de labour, ce caractère est associé à un accroissement de la porosité grossière.

3. MICROMORPHOLOGIE DES UNITES MORPHOLOGIQUES HOMOGENES (UMH).

Par définition, l'organisation microstructurale du sol se compose de la combinaison de la masse solide et des vides, définissant aussi le réseau poral. Ces vides peuvent être organisés, soit en réseau continu, dans ce cas ils délimitent des agrégats, soit en réseau discontinu non communiquant, caractérisant ainsi une structure continue sans agrégats distincts.

Ces deux cas de figure définissent deux situations extrêmes des sols cultivées. La première situation est le cas où le sol présente une structure fragmentaire et la seconde correspond à l'état de sol tassé, sous l'effet des contraintes culturales et atmosphériques. Entre les deux situations existent des cas intermédiaires en fonction de l'ampleur de l'impact des pratiques culturales. L'objectif de ce chapitre est de rendre compte de ces différentes situations dans les UMH et de juger ainsi de l'importance de l'influence des pratiques culturales sur l'arrangement des constituants (vides et phase solide).

3. 1. MICROSCOPIE OPTIQUE

3. 1. 1. Protocoles d'étude

3. 1. 1. 1. Préparation des échantillons

Des blocs de terre non remaniée (environ 10 cm de côté) issus des unités morphologiques homogènes ont été séchés à l'air pendant plusieurs jours puis imprégnés de résine polyester non saturée sous une pression de 5 kPa. Après induration de la résine (au bout de 2 mois environ), des plaquettes de quelques millimètres d'épaisseur sont découpées à l'aide d'une scie diamantée. Ces plaquettes sont ensuite polies à l'aide d'une meule jusqu'à l'obtention de lames minces transparentes de 20 à 30 μm d'épaisseur. Ces échantillons ont été imprégnés à l'atelier de lame mince de L'INA-PG.

3. 1. 1. 2. Les obstacles rencontrés

De nombreuses difficultés rencontrées, dont la majeure partie n'a pu être surmontée, ne nous ont pas permis d'avoir une étude micromorphologique complète.

La première, qui a constitué le handicap principal, réside dans l'imprégnation des échantillons destinés à cette étude. Malheureusement, les échantillons ont été imprégnés sans uvitex; produit fluorescent (uvitex, Ciba-Geigy) qui, ajouté à la résine permet de distinguer

l'espace poral du sol imprégné de sa phase solide, par luminescence, lorsque l'échantillon placé dans une boîte noire est éclairé par des lampes à rayonnement UV.

Cette première difficulté engendre la seconde qui concerne l'analyse d'image. Pour cette technique, la saisie de l'image ne peut se faire de manière correcte sans la présence de cette substance fluorescente qui réémet une lumière donnant l'image des vides occupés par la résine dans l'échantillon (MURPHY *et al.*, 1977).

Aussi, essayant de nous affranchir de ces obstacles majeurs, nous avons tenté d'effectuer des analyses d'image soit directement à partir des lames minces, pendant les observations au microscope optique, soit par l'intermédiaire des photos prises des lames minces. Cette tentative n'a pu donner satisfaction non plus. La raison en est qu'il existe souvent une grande confusion entre les minéraux transparents comme le quartz et le vide. Il nous a donc été impossible de pouvoir attribuer avec exactitude, dans une telle mesure, la part qui revient à la masse des solides et à celle de l'espace poral.

Ayant donc buté contre cet obstacle dû au défaut d'imprégnation, nous nous sommes contentés de simples observations visuelles au microscope stéréoscopique (grossissement 32) et au microscope optique à transmission (Leitz Orthoplan G X 400) équipé d'un appareil photo permettant des prises de vue pour caractériser l'organisation interne des UMH.

3. 1. 1. 3. Les observations

Les observations ont été faites en lumière naturelle réfléchie, puis en lumière transmise, avec des polarisations sous plusieurs angles d'observation.

L'exposition en lumière naturelle réfléchie permet une vue sans coloration de l'échantillon. La matrice est naturellement dans la teinte brune à cause des oxydes de fer. Les vides et les minéraux non colorés apparaissent par transparence en blanc ou en gris. A ce stade, il est difficile de distinguer le quartz du vide, le relief étant quelquefois peu perceptible. Le passage en lumière polarisée sous plusieurs angles permet de lever quelque peu le doute. Le quartz, alors, se caractérise par une extinction roulante évoluant entre le gris sombre et le blanc, tandis que les vides apparaissent en gris sombre ou en noire, quel que soit l'angle d'observation. Plusieurs prises de vue successives nous ont donc permis, malgré les difficultés que cela comporte, de caractériser l'organisation interne des UMH. Des photos prises à différents grossissements rendent compte de l'organisation entre les agrégats et l'intérieur des agrégats. Les descriptions seront inspirées des concepts de caractérisation micromorphologique établis par BREWER

(1964), STEEPS et JONGERUS (1975), de FITZPATRICK (1980), BULLOCK et *al.* (1985). Pour ces observations, nous nous sommes limités à un degré de résolution situé dans l'intervalle de dimension 20 - 10 000 μm . Ces angles de dimension permettent de caractériser la mésoporosité et la macroporosité.

3. 1. 1. 4. Paramètres considérés

L'étude de l'organisation des constituants du sol tient compte de trois principaux éléments. Ce sont l'état d'agréation, la porosité et la composition de la matrice.

Pour les *agréats*, différents termes seront utilisés. Nous parlerons de sol

- émietté ou morcelé, lorsque le sol comporte en majorité, des agrégats distincts de diverses tailles et séparés les uns des autres par une porosité communicante; les gros agrégats eux-mêmes étant formés de petits agrégats;
- macroagrégué pour la présence de gros agrégats distincts;
- à structure incomplète, continue ou massive, pour la présence d'agréats peu distincts ou l'absence d'agréats ; les tailles des agrégats seront indiquées et si possible avec leurs proportions.

Pour la *porosité*, les types de pores, les contours et les tailles seront précisés d'après la classification de BREWER (1964). Il sera donc question de :

- fissures régulières ou irrégulières, accommodées ou non accommodées quand les deux faces des blocs délimités par la fissure peuvent ou ne pas s'emboîter (BULLOCK et *al.*, 1985);
- les chenaux ou les galeries sont des pores biologiques, cylindriques, à contours réguliers;
- les chambres d'origine biologiques, également, sont connectées par des chenaux;
- les pores d'entassement sont constitués d'un réseau poral contenant des entassements désordonnés des fragments isolés de la matrice;
- les cavités sont des pores souvent fermés, aux contours irréguliers. Elles peuvent ou non être connectées par des fissures.

La *matrice* (phase solide) est composée du ciment qui est la partie fine (oxydes, matières organiques, argiles) et du squelette qui est la partie grossière (graviers ou grains de sable).

3. 1. 2. Typologie de la micromorphologie des unités morphologiques homogènes et effet des traitements

Pour chaque unité morphologique homogène (UMH), les types de porosité, les proportions, les tailles sont indiquées en annexe II.3.4 et la description détaillée en annexe II.3.5. Les proportions sont évaluées à l'aide de l'échelle de FITZ PATRICK (1980).

Le tableau II.3.9 regroupe les UMH selon les caractères micromorphologiques communs (Types d'agrégat, caractères de porosité et types de pores).

L'ensemble des unités morphologiques homogènes (UMH) étudiées, issues de la forêt témoin et des six situations de parcelles cultivées, s'organisent essentiellement en 5 classes d'affinités micromorphologiques différentes.

La première classe (Planche 4, photos 1 à 4) est formée des UMH ou horizons A11 et A12 sous forêt, A1(ts) de la parcelle traditionnelle non labourée et des UMH Ap1(Tl, sl et ml) des trois situations de parcelles traditionnelles (tl), semi-mécanisées (SL) et mécanisées (ML) labourées. Ces UMH se distinguent par une microstructure entièrement agrégée et émiettée, avec des agrégats de taille variable (80 à 8000 μm de diamètre). La porosité est organisée en un réseau continue, entièrement ouverte et communicante, formée à dominance de pores d'entassement (40 à 50 %), et en seconde importance de fissures non concordantes, de chenaux et de cavités. D'une manière générale, la taille des pores est comprise entre 31 et 4800 μm de diamètre.

La deuxième classe (Planche 4, photos 5 et 6) regroupe les UMH ou horizons A2 sous forêt, A2(ts) de la parcelle traditionnelle non labourée, A1(ss) issus des parcelles semi-mécanisées non labourées et les UMH Ap2(tl), Ap2(sl) et Ap2(ml) des situations de mise en culture avec labour Tl, SL, et ML. Cette classe est caractérisée par une organisation interne des UMH moins structurée que celle du premier groupe. Elle comporte de gros agrégats anguleux, de l'ordre de 1000 à 9600 μm de diamètre, non morcelés et peu individualisés. La porosité est organisée en réseau continu et communicant, mais moins ouverte que celle de la première classe. Elle est à dominance formée de fissures (plus de 40 % de l'espace poral) et en seconde importance de pores d'entassement (20 à 40 %) et de quelques chenaux. La taille des pores varie entre 48 et 1000 μm de diamètre.

Tableau II.3.9 : Répartition des unités morphologiques homogènes selon les critères d'organisation microstructurale.

Critères d'organisation micromorphologique			Traitements et unités morphologiques homogènes (UMH)						
Types d'agrégation	Caractères de porosité	Type de pores dominants	F	TS	SS	MS	TI	SL	ML
Entièrement agrégé. Agrégats arrondis bien individualisés et entièrement émiété	Porosité entièrement ouverte, communicante et continue	Pores d'entassement (40 à 50 %) <i>Secondairement</i> : - fissures non concordantes - chenaux - cavités (1500-4800 µm)	A11						
Entièrement agrégé. Gros Agrégats bien individualisés mamelonnés et émiétés taille variable (80-8000 µm)		- pores d'entassement à dominance 45-50 % <i>Secondairement</i> : - fissures non concordantes - chenaux - cavités (31-960 µm)	A12	A1 (ts)			Ap1 (tl)	Ap1 (sl)	Ap1 (ml)
Amorce d'agrégats anguleux centimétrique (1000-9600 µm)	Porosité en réseau continu et communiquant	Fissures (> 40 %) Pores d'entassement 20-40 % (48-1000 µm)	A2	A2 (ts)	A1 (ss)		Ap2 (tl)	Ap2 (sl)a et Ap2 (sl)b	Ap2 (ml)a
Agrégation incomplète ou diffuse	Réseau communiquant peu continu	Cavités (50 %) Peu de fissures Peu de chenaux (75-300 µm)			A2 (ss)	A2 (ms)	A2 (tl)		
Pas d'agrégats distincts	Peu communiquant	Fissures (50 %) Cavités (30 %) Cutanés dans les situations de culture (50-1960 µm)	B2	B2 (ts)	B2 (ss)	B2 (ms)	B2 (tl)	B2 (sl)	B2 (ml)
Pas d'agrégat	Porosité non ouverte Coexistence de zones peu poreuses et de zones non poreuses	Porosité faite essentiellement de cavités de taille réduite (35-2000 µm) Quelques fissures du fait des racines				A1 (ms)			Ap2 (ml)c

Planche 4 Organisation micromorphologique des UMH au microscope optique

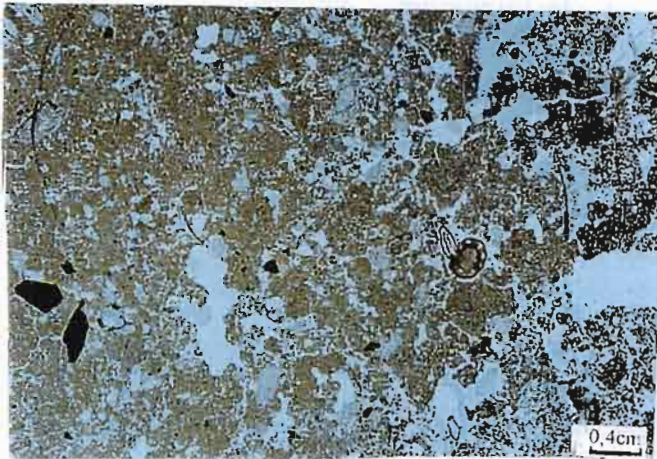


Photo 1: A12: microstructure agrégée et morcelée. Porosité d'entassement dominante.

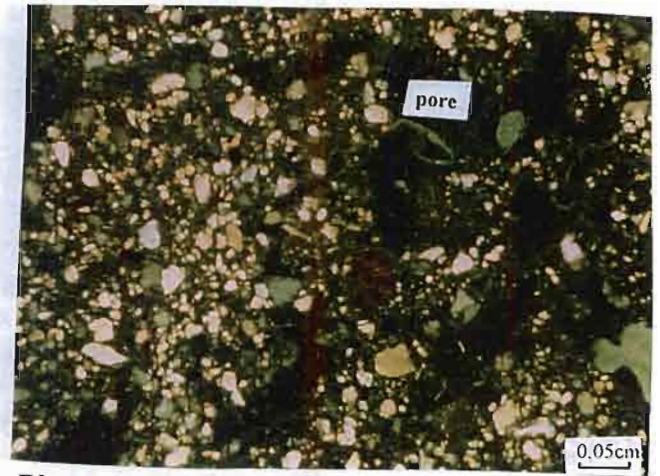


Photo 4: A1(ts): organisation macroagrégée. Porosité communicante et continue.

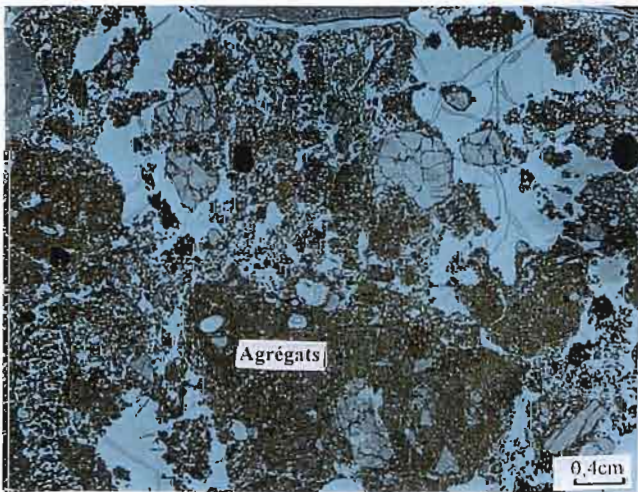


Photo 2: Ap1(ml): microstructures agrégées. Agrégats morcelés, Porosité d'entassement et traces d'activité faunique.

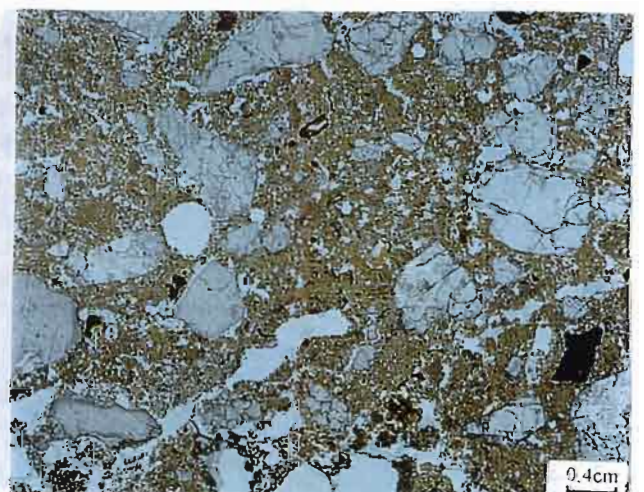


Photo 5: Ap2(ml)a: agrégation incomplète et diffuse. Trace d'activité faunique.



Photo 3: Ap1(tl): organisation macroagrégée. Réseau poral communiquant et ouvert.



Photo 6: A2: structure plus resserrée. Agrégation diffuse, cavités, fissures et pores d'entassement.

Planche 5 Organisation micromorphologique des UMH au microscope optique

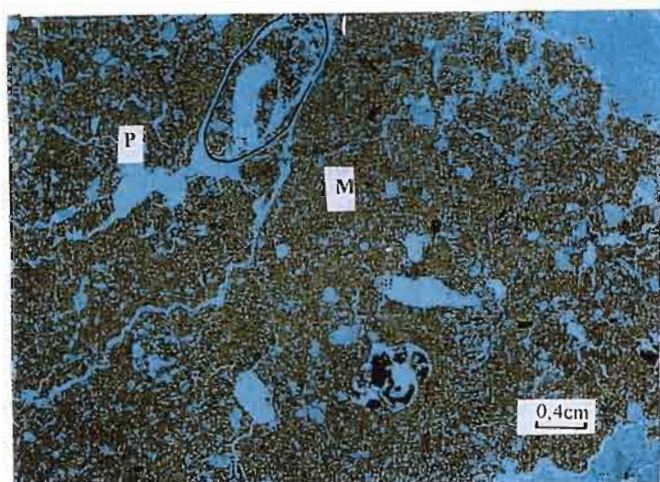


Photo 1: A2(tl): microstructure classe 3. Réseau poral *communiquant étroit*. Traces d'activité faunique et pores d'entassement.

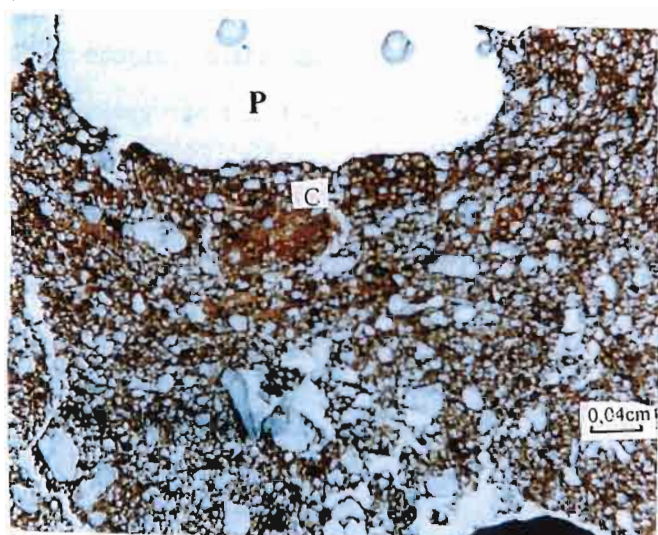


Photo 4: B2(sl): zones peu poreuses. Exemple de pore cutané en profondeur.

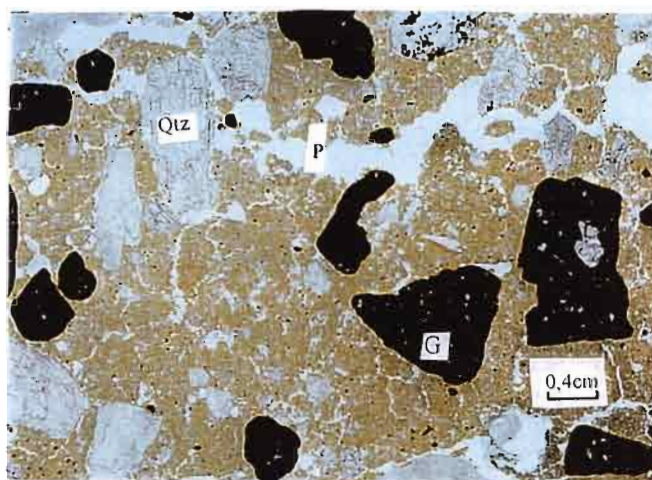


Photo 2: B2: sous forêt. Réseau poral. Fissures communicantes et amorce d'agrégats anguleux.

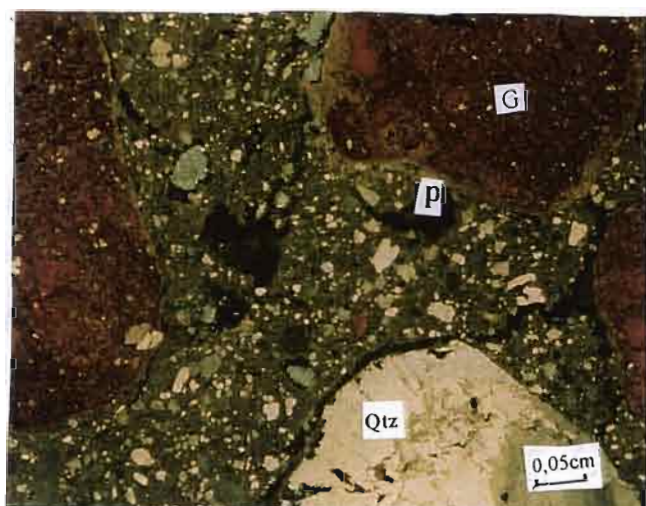


Photo 5 : B2: sous forêt. Environnement des EG. Graviers de quartzites et gravillons ferrugineux avec des pores fermés.

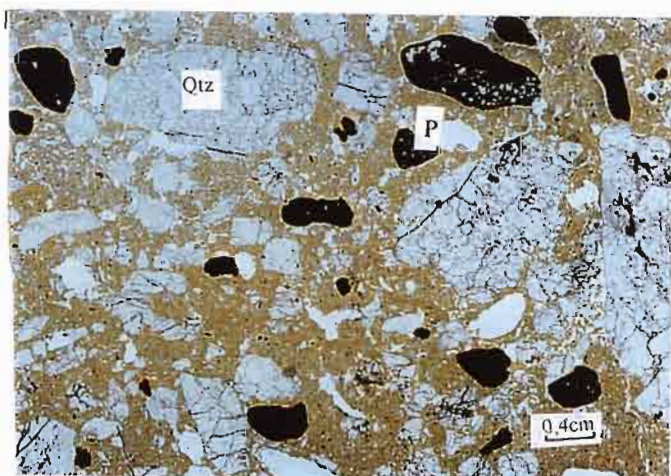


Photo 3: B2(sl): réseau poral. Cavités isolées et fines fissures non communicantes.

P : porosité
M : matrice
Qtz : quartz
O : oxyde
MO : Matière organique
G : Gravillon
C : cutanes

La troisième classe (Planche 5, photo 1), constituée des UMH A2(ss), A2(ms) et A2(tl), est caractérisée par une agrégation incomplète ou diffuse, avec un réseau poral tout de même communiquant mais non continu et resserré. Le réseau poral est formé à plus de 50 % de cavités (75 - 300 μm de diamètre), de quelques fissures étroites, de quelques chenaux et de pores d'entassement.

La quatrième classes (Planche 5, photos 2 à 5) regroupe les horizons de profondeur B2. Ces UMH ne comportent pas d'agrégat. Le réseau poral est essentiellement formé de quelques fissures étroites et peu communicantes et de quelques cavités comportant des cutanes dans les situations de parcelles labourées.

La cinquième classe (Planche 6, photos 1 à 5) comprend l'horizon de surface A1(ms) et l'UMH Ap(ml)c issus des parcelles entièrement mécanisées non labourées. Ces UMH ne comportent pas d'agrégats. Elles sont caractérisées par l'existence de trois types de zones. Des zones poreuses avec des amorces d'agrégats, des zones peu poreuses comportant des cavités isolées (35-2000 μm) et des zones non poreuses à structure continue.

Pour toutes les situations, la matrice est hétérogène et constituée de muscovite, d'argiles, de matière organique, d'oxydes et de racines, avec des éléments grossiers de quartzites de taille variable (750 à 3000 μm). Ces éléments grossiers comportent quelques pores fermés de 40 à 75 μm (Planche 5, photo 5).

*

Il ressort de cette synthèse des caractères micromorphologiques que :

Le défrichement suivi de la mise en culture sans labour a affecté l'organisation interne du sol par degré différent selon les horizons et le mode de défrichement. Les deux premiers horizons A1 et A2 sont les plus touchés. Le sol plus aéré et agrégé avec une porosité entièrement communicante, sous forêt, devient plus compact avec une diminution de la porosité ouverte sous parcelle traditionnelle et sa transformation, partielle ou totale, en une porosité fermée (quelques cavités), sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées (Planche 6, photos 1 à 5).

Planche 6: Organisation micromorphologique des UMH au microscope optique

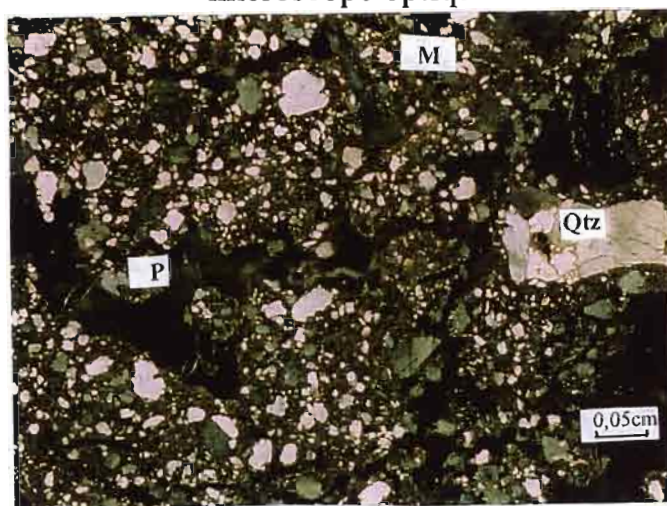


Photo 1: Al(ms): zone poreuse. Réseau poral continu avec des amorce d'agrégats.



Photo 4: Al(ms) zone peu poreuse de avec des cavités isolées non communicantes.

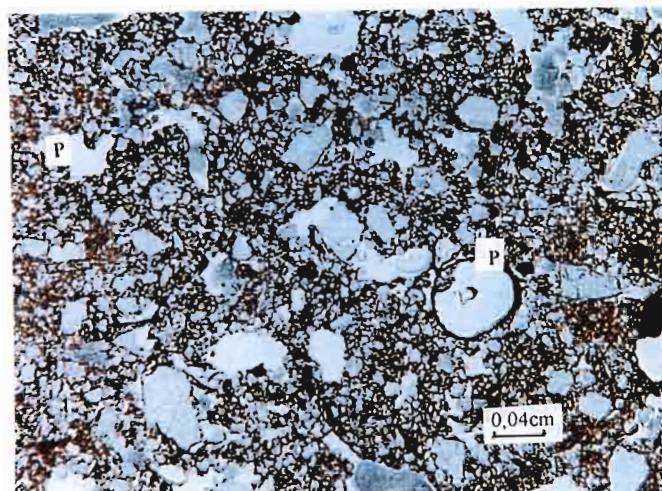


Photo 2: Zone peu poreuse de Al(ms). Cavités isolées dans la masse continue.

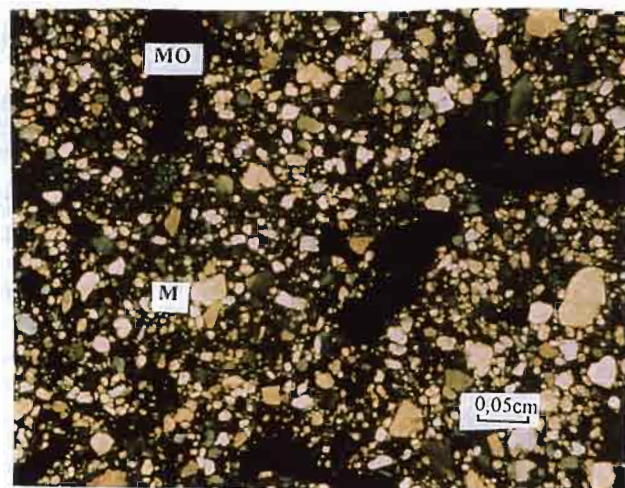


Photo 5: Inclusions charbonneuses indiquant l'origine superficielle de l'UMH Ap2(ml)c.

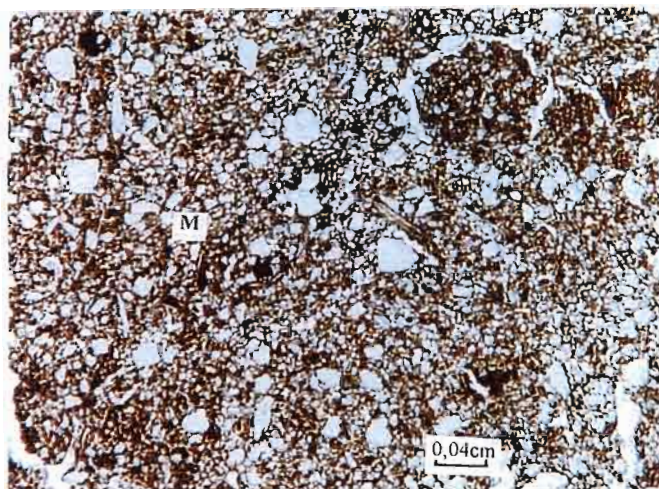


Photo 3: Structure de zone non poreuse. Tendance à l'entraînement des particules argileuses.

P : porosité
M : matrice
Qtz : quartz
O : oxyde
MO : matière organique
G : gravillon
C : cutanes
R : racines

Pour ces situations de mise en culture sans labour, les traitements traditionnels (TS) modifient peu la micromorphologie du sol; les horizons de surface A1(ts) et A2(ts) étant respectivement dans la même classe que celle de A12 et de A2 sous forêt.

En deuxième position viennent les situations semi-mécanisées (MS) avec l'horizon A1(ss) présentant les mêmes caractéristiques que A2 sous forêt et A2(ts).

Ici encore, les traitements entièrement mécanisés (ML) présentent la plus forte dégradation. Les horizons de surface A1(ms) et A2(ms) étant dans les classes les plus défavorables, d'agrégation peu apparente.

*

Le labour superficiel dans le système traditionnel ou profond dans les situations de défrichement semi-mécanisé et mécanisé a entraîné une microstructuration du sol en deux principaux paliers différents dans la couche remaniée (Tableau II.3.9).

La première strate formée des UMH Ap1 présente des caractères comparables à ceux de l'horizon de surface A12 sous forêt (Planche 4, photos 1 à 4).

La deuxième strate constituée des UMH Ap2(tl), Ap2(sl) et Ap2(ml)a présente des affinités avec l'horizon A2 sous forêt.

Cependant, des vestiges de la dégradation plus importante du sol par le défrichement mécanisé restent présents dans la couche labourée sous forme de Ap2(ml)c (Planche 6, photo 5).

3. 2. ULTRASTRUCTURE DES UMH

Les observations au microscope optique nous ont permis de rendre compte de l'organisation de la matrice et des vides qui composent la structure des UMH, et d'en déterminer ainsi l'effet des traitements sur la porosité entre les agrégats du sol (macroporosité). L'analyse ultrastructurale qui est d'une échelle plus fine s'intéresse, quant à elle, à la structure interne des agrégats jusqu'à l'agencement des particules argileuses. L'objectif est de voir si les modifications observées aux échelles plus grandes atteignent l'organisation ultrastructurale.

Dans cette étude, seules quelques unités morphologiques présentant des caractères structuraux contrastés et parmi celles où ressortent le mieux les effets des différents niveaux de contraintes lors des investigations aux échelles plus grandes, seront observées. Ce sont les horizons A1(ts) de la parcelle traditionnelle non labourée TS, A1(ms) issu de la parcelle mécanisée sans labour MS et l'UMH compacte Ap2(ml)c) de la parcelle mécanisée labourée contiguë. Ces UMH présentent les caractères suivants, d'après les observations au microscope optique (Tableau II.3.9) :

- A1(ts) présente des caractères semblables à ceux de A12 sous forêt (gros agrégats bien individualisés délimités par un réseau poral entièrement ouvert et communicant) et représenterait ainsi, une situation de dégradation difficilement décelable à l'échelle du microscope optique où les observations sont faites en une seule dimension (sur une face plane). Nous soupçonnons qu'il existe, tout de même, des empreintes liées à l'exploitation du sol pendant quatre ans, mais qui au vu des limites de la microscopie optique n'ont pu être mises en évidence.

- A1(ms) et Ap2(ml)c) à organisation interne continue et peu poreuse représentent tous deux une situation extrême de refonte du matériel pédologique en une masse continue.

L'Ultrastructure de ces UMH sera donc comparée à celle de l'horizon de surface A12 sous forêt. Notre objectif est de juger du degré de l'impact des pratiques culturales, surtout du défrichement sur la structure du sol, même au niveau des organisations fines du sol.

3. 2. 1. Préparation des échantillons

L'échantillon non perturbé de taille inférieure à 5 mm³ est collé sur un plot (porte-objet) à l'aide d'une résine à la laque d'argent, pour assurer la conductibilité du courant entre l'objet et le support vers la masse. La métallisation est réalisée par évaporation thermique dans un

métalliseur permettant de couvrir l'échantillon d'un film d'or fin de 300 à 400 Å. Les observations ont été faites au microscope électronique à balayage (MEB) (Microscope JEOL T300) de capacité de grossissement 20 000. Les échantillons ont été observés sous différentes amplifications entre la fourchette de grossissement 35 à 5000. Les dimensions structurales observables sont donc comprises entre 2000 et 0,1 µm. La résolution couvre ainsi, une grande marge de l'échelle de mesure au porosimètre à mercure (entre 0,006 µm et 400 µm) et des observations au microscope optique (entre 20 et 10 000 µm).

3. 2. 2. Résultats

Les observations au MEB permettent de voir l'organisation du sol en trois dimensions, faisant ainsi ressortir les formes et les dimensions réelles des constituants. Sur les images photographiques, la phase solide est éclairée et apparaît en blanc, tandis que les vides apparaissent en couleur sombre (noir).

Pour toutes les échelles d'observation, l'horizon de surface A1(ms), de la parcelle mécanisée non labourée, et l'UMH Ap2(ml)c, de la parcelle labourée contiguë, présentent une Ultrastructure semblable et qui est différente à la fois de celle de A1(ts) issu de la parcelle traditionnelle non labourée et de celle de A12 sous forêt.

L'horizon A12 observé au grossissement 35 (planche 7, photos 1 et 2) présente une structure lâche et emboîtée sous forme d'agrégats, d'environ 2000 µm de diamètre, séparés par un réseau poral communiquant (300 µm de diamètre) et percés de très nombreux pores de 30 à 150 µm de diamètre, comme nous l'avons observé au microscope optique. Cette structure est formée de trois sous-structures de plus petite dimension. La première sous-structure est constituée de petits agrégats, d'environ 63 µm de diamètre, considérés comme élémentaires à cette échelle. La deuxième sous-structure (156 µm de diamètre) est formée d'agglomérat de la première. Les agrégats constituant la deuxième sous-structure sont également regroupés en plus gros agrégats (625 µm de diamètre). Ces gros agrégats sont cernés de nombreux hyphes mycéliens (planche 8, photo 1) qui ne sont pas observés dans les échantillons issus des parcelles cultivées. Cette organisation emboîtée est peu observée dans l'horizon A1(ts) de la parcelle

Planche 7: Ultrastructure du sol au MEB

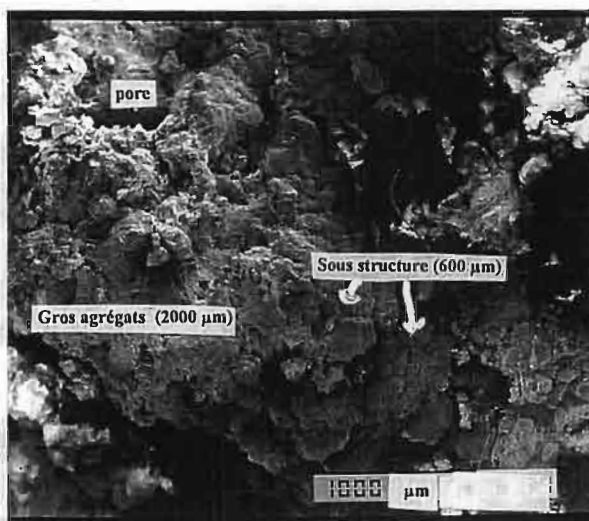


Photo 1: Horizon A12 sous forêt. Ultrastructure lâche avec un réseau poral communiquant.

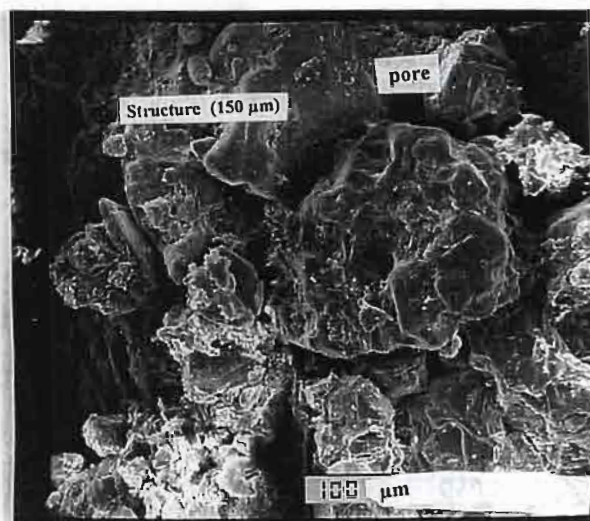


Photo 2: Ultrastructure de A12 sous forêt. Agrégats de 150µm de diamètre individualisés. Réseau poral communiquant.



Photo 3: Ultrastructure de A1(ts), organisation emboîtée moins distincte que celle de A12 sous forêt.



Photo 4: A1(ts): ultrastructure peu distincte sous agrégats de 150 µm de diamètre à faible porosité



Photo 5: Ap2(ml)c emboîtements non distincts.

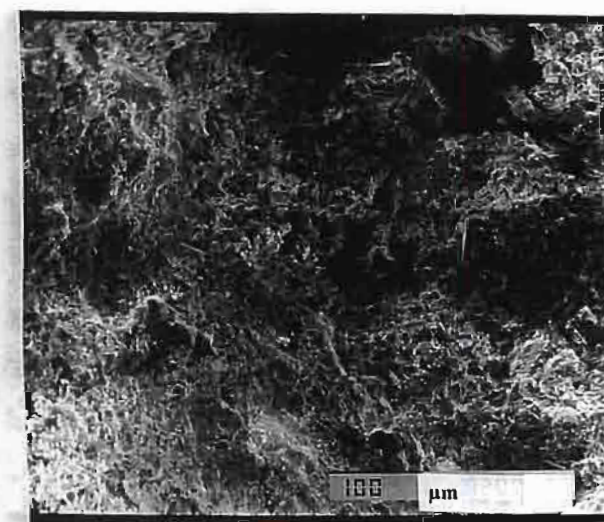


Photo 6: Ap2(ml)c: ultrastructure fondue, particules de sol orientées.

Planche 8

Ultrastructure du sol au MEB

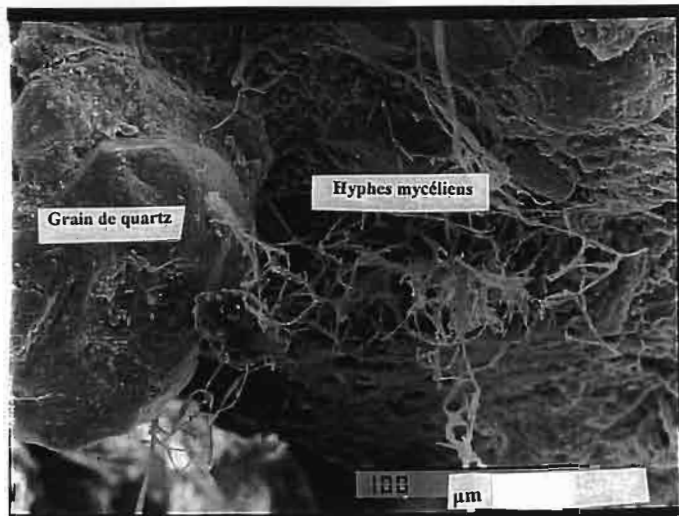


Photo 1 : Ultrastructure des hyphes mycéliens autour des agrégats de sol sous forêt témoin.

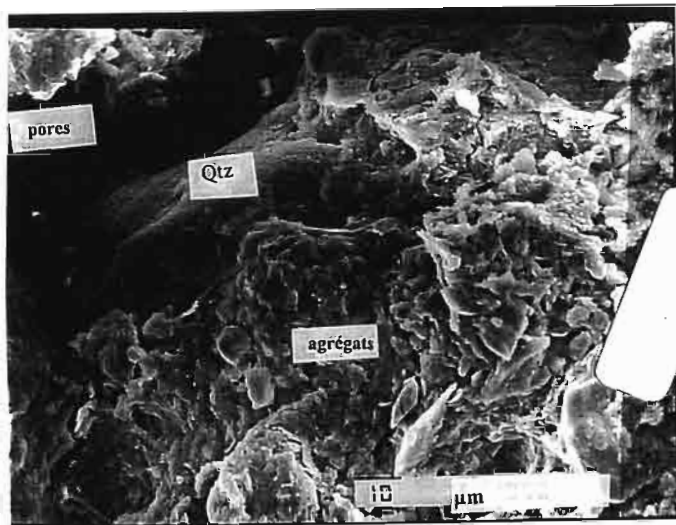


Photo 2 : A12: ultrastructure au MEB; Agglomérats poreux.

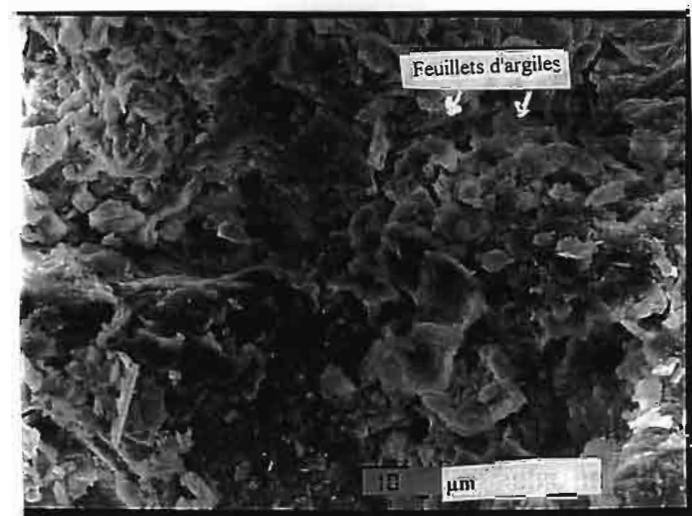


Photo 3 : A1(ts): ultrastructure, feuillets d'argile.

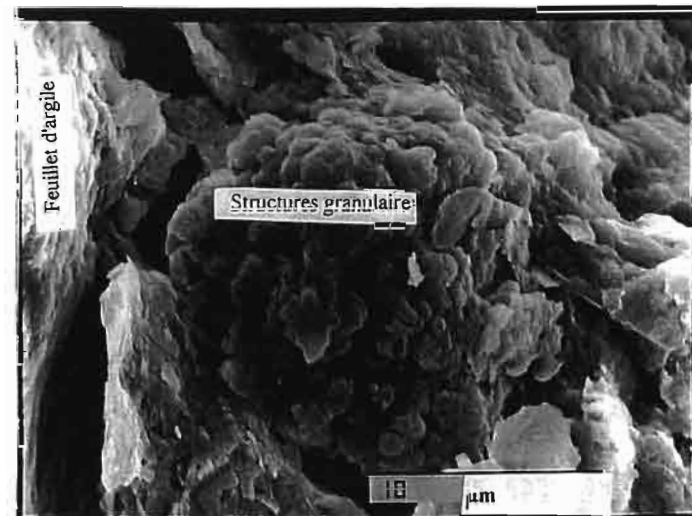


Photo 4 : A1(ms); Ultrastructure granulaire associée aux feuillets d'argile

traditionnelle. Elle est inexistante dans l'horizon A1(ms) et l'UMH Ap2(ml)c des parcelles mécanisées. L'échelle plus fine (grossissement 200) montre que les agrégats, d'environ 150 μm de diamètre sont bien individualisés et séparés par des pores de 10 à 30 μm de diamètre (Planche 7, photo 2).

Dans A1(ts), on note une coexistence d'une structure emboîtée diffuse composée de deux sous structures de 150 et de 600 μm de diamètre chacune, et d'agrégats (1000 μm) à contour irrégulier avec une structure interne continue. La porosité reste encore communicante attestant la pertinence des observations faites au microscope optique. La sous-structure formée d'agrégats d'environ 150 μm apparaît peu nette par rapport à celle de A12 et montre ainsi une légère dégradation de cet horizon A1(ts) par rapport à A12 (Planche 7, photos 3 et 4).

Les UMH A1(ms) et Ap2(ml)c des parcelles mécanisées, quant à elles, présentent une organisation plus massive constituée de la fusion des sous-structures, observées sous forêt, en agrégats incomplets (Planche 7, photo 5). On note la présence de pores d'environ 100 μm de diamètre, partiellement reliés entre eux. Le passage à une échelle plus fine (grossissement 200) laisse voir que l'organisation interne des agrégats des unités A1(ms) et Ap2(ml)c est continue et peu poreuse, contrairement à celle de A12 sous forêt et à A1(ts) de la parcelle traditionnelle TS, où les agrégats d'environ 150 μm de diamètre restent individualisés et séparés par des pores de 10 à 30 μm de diamètre dans les deux situations. L'orientation des particules argileuses dans ces unités A1(ms) et Ap2(ml)c traduit l'effet de compaction subie par le sol lors des défrichements (Planche 7, photo 6).

Le grossissement 1000 laisse encore apparaître des agglomérats poreux en A12 (Planche 8, photo 2), tandis que dans les unités des parcelles cultivées la structure apparaît sous forme de feuillets ou de pétales séparés par des pores de 0,6 à 2 μm de diamètre (Planche 8, photo 3). Cette porosité fine apparaît plus importante dans les UMH A1 (ms) et Ap2(ml) issues des parcelles mécanisées que dans A1(ts) de la parcelle traditionnelle et A12 sous forêt. Au grossissement 3500, on observe des structures granulaires d'environ 10 μm de diamètre et poreuses (0,2 à 0,6 μm) associées aux feuillets d'argile (Planche 8, photo 4). Ces structures sont semblables à des structures d'accumulation de fer d'origine biologique (BRIAN et CHOING, 1988; TAMIA, 1992). Ces ultrastructures sont sans doute issues de germes bactériens ou fongiques minéralisateurs des sels organiques de fer participant à la stabilité des agrégats du sol; le fer jouant le rôle de lien entre les colloïdes organiques et minéraux du sol (MARTIN, 1963).

Ces observations confirment la perte de macroporosité au profit des pores plus fins sous l'effet du défrichement et de la mise en culture. Cette perte de macroporosité serait due à la fusion de la structure emboîtée et macroagrégée observée sous forêt, en une organisation peu structurée, continue et massive sous l'effet du défrichement, surtout mécanisé, et de la mise en culture. L'émiettement des agrégats en particules plus fines entraîne donc un accroissement de la porosité texturale au détriment de la macroporosité, définie par les vides interagrégats.

4. REPARTITION DES RACINES DE MAIS DANS LES UMH

La méthode d'étude associée à l'analyse du profil cultural a été indiquée au paragraphe 1.1 de ce chapitre 3.

L'étude comparative de la répartition racinaire, en fonction de la différenciation du profil, n'a d'intérêt que dans le cas des situations cultivées en maïs.

On fera simplement remarquer, pour la situation F, la forte densité des racines (fines racines) limitées aux tous premiers centimètres du sol (Figure II.3.1 et Tableau II.3.10), comme cela s'observe toujours sous forêts tropicales humides.

D'une manière générale, l'enracinement du maïs apparaît peu profond (<30 cm) dans tous les cas.

4. 1. DISTRIBUTION RACINAIRE DANS LES UMH DES PARCELLES SANS LABOUR

L'enracinement est très faible sur toutes les parcelles non labourées TS, SS, et MS où les densités racinaires moyennes respectives 156 racines/dm², 163 racines/dm² et 123 racines/dm² dans les horizons A1(ts), A1(ss) et A1(ms), décroissent significativement de l'ordre de 4 à 5 fois leurs valeurs lorsqu'on passe aux horizons A2(ts), A2(ss) et A2(ms), entre 6 cm et 22 cm (voire 32 cm pour SS) de profondeur. Au-delà de 20 à 30 cm environ de profondeur, on n'observe pratiquement plus de racine. Pour toutes les situations; la densité racinaire se réduit à 3 racines/dm² sur les parcelles traditionnelles (TS), alors qu'elle est nulle sur les parcelles semi-mécanisées (SS) ou mécanisées (MS) à la partie supérieure de l'horizon B2 (ts, ss ou ms).

L'analyse de variance (Tableau II.3.10) ne révèle aucun effet du mode de défrichement, quels que soient les horizons, comme cela a été signalé au chapitre I. III.2, lors de l'étude à l'échelle de

Tableau IL3.10 : Valeurs de densité racinaire des unités morphologiques homogènes (UMH)

UMH		Epaisseur des UMH (cm)	Proportion (%) des UMH par rapport à la surface du profil observé	pourcentage de Racines par UMH (%)	Densités racinales (racines / dm2)	Comparaison globale des densités de racines	
Traitements							
Forêt (F)	A11	0 - 3	6	75	434 ¹³	c	
	A12	3 - 9	10	16	94 ¹¹	b	
	A2	9 - 18	21	6	35 ⁵	a	
	B2	18 - 40	53	3	20 ⁴	a	
Traditionnel	A1(ts)	0 - 6	15	78	156 ²⁹	c	d
sans labour	A2(ts)	6 - 22	31	20	41 ⁵	b	b
(TS) Semi-mécanisé	B2(ts)	22 - 40	47	1	3 ²	a	a
sans labour	A1(ss)	0 - 10	19	81	163 ²¹	c	d
	A2(ss)	10 - 32	54	19	39 ⁴	b	b
	(SS)	B2(ss)	32 - 40	28	0 ⁰	a	a
Mécanisé	A1(ms)	0 - 8	20	82	123 ¹⁷	c	c
sans labour	A2(ms)	8 - 20	36	18	27 ⁴	b	b
(MS)	B2(ms)	20 - 40	44	0	0 ⁰	c	a

UMH		Epaisseur des UMH (cm)	Proportion (%) des UMH par rapport à la surface du profil observé	pourcentage de Racines par UMH (%)	Densités racinales (racines / dm2)	Comparaison globale des densités de racines		
Traitements								
Traditionnel	Ap1(tl)	0 - 6	5	61	191 ²⁴	c	e	
	Ap2(tl)	6 - 12	12	29	90 ¹⁵	b	c	
	superficiel (TL)	A2(tl)	12 - 30	45	8	26 ⁵	a	b
		B2(tl)	30 - 40	39	2	8 ¹	a	a
Semi-mécanisé avec labour profond (SL)	Ap1(sl)	0 - 10	14	70	231 ²⁷	d	e	
	Ap2(sl)a	10 - 22	37	18	61 ⁷	b	c	
	Ap2(sl)b	22 - 28	15	10	34 ⁶	ab	b	
	B2(sl)	28 - 40	33	1	4 ²	a	a	
Mécanisé avec labour profond (ML)	Ap1(ml)	0 - 7	15	62	291 ³³	c	e	
	Ap2(ml)a	7 - 32	55	28	130 ¹⁰	b	c	
	Ap2(ml)c	16 - 28	16	10	49 ⁸	a	b	
	B2(ml)	32 - 40	14	0	2 ²	a	a	

UMH : Unité Morphologique Homogène

Pour chaque colonne, les moyennes de densité racinaire affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman - Keuls. Les chiffres en italique représentent les écart-types sur les moyennes

p < 0,0001 ; n = 1437 données pour les densités racinaires du maïs sur les parcelles cultivées ; n = 283 pour l'enracinement sous forêt

La comparaison globale tient compte que des données des parcelles cultivées. L'enracinement sous forêt est donné à titre indicatif et n'est pas à comparer à celui du maïs sur les parcelles cultivées.

la parcelle totale. Cependant, la baisse de densité des racines en passant de l'horizon supérieur à l'horizon sous-jacent, est hautement significative dans toutes les situations (cf. Chapitre I. III.2). Cette profondeur d'enracinement du maïs, limitée aux 30 cm supérieurs du sol, apparaît, en effet, très réduite comparativement aux observations de TARDIEU et MANICHON, 1987; NICOUILLAUD et *al.*, 1995 sur d'autres types de sol, au champ et en milieux expérimentaux où l'enracinement du maïs atteint 80 à 120 cm de profondeur.

4. 2. DISTRIBUTION RACINAIRE DANS LES UMH DES PARCELLES LABOUREES

Sur les parcelles labourées TL, SL et ML, la densité racinaire apparaît, d'une manière générale, significativement plus élevée que celle des parcelles non labourées, de même type de défrichement et cela sur toute la hauteur de la couche remaniée, par rapport aux horizons d'épaisseur équivalente du sol non labouré (Tableau II.3.10). Ainsi, les rapports entre les valeurs de densité racinaire des UMH remaniées Ap (TL, sl et ml) et celles des horizons A1(ts, ss et ms) et A2(ts, ss et ms) des parcelles non labourées, sont de 1,2; 1,4 et de 2,4 pour respectivement Ap1/A1 des parcelles labourées / non labourées issues des défrichements traditionnel (T), semi-mécanisé (S) et mécanisé (M). Les valeurs des rapports Ap2/A2 sont de 2 pour T; 1,2 pour S et 4 pour M. A2(tl) non touché par le labour connaît aussi une forte réduction de densité racinaire. Ces valeurs montrent une amélioration plus importante de l'enracinement sous l'effet du labour profond pratiqué sur les parcelles mécanisées. On remarque cependant que les UMH incluses Ap2 (tl)b et Ap2 ml(L) du sol labouré, respectivement après défrichement semi-mécanisé et mécanisé (TL et ML) se montrent peu favorables à l'enracinement. Ceci sera commenté plus loin.

L'analyse de variance (Tableau II.3.10) révèle des différences significatives de densité racinaire entre les UMH Ap1 et Ap2; la densité racinaire des Ap1 étant 2; 5 et 3 fois supérieure à celle des Ap2 respectivement sur les parcelles traditionnelles TL, semi-mécanisées SL et mécanisées ML. Aussi, l'enracinement apparaît plus fourni (près de 1,5 fois plus élevé pour les ML), à profondeurs égales, avec le labour profond au tracteur sur les parcelles semi-mécanisées (SL) ou mécanisées (ML) par rapport au labour superficiel sur les parcelles traditionnelles (tl) où l'enracinement s'affaiblit beaucoup en dessous de la limite de travail.

Dans tous les cas, l'enracinement ne pénètre pratiquement pas dans l'horizon B2 (TL, sl ou ml).

*

Le labour s'avère toujours profitable à l'enracinement, sur toute l'épaisseur de la couche labourée, par rapport au sol non labouré.

Il apparaît que les valeurs de densité racinaire sont d'autant plus faibles que les valeurs de RMP sont faibles (Tableau II.3.11). Les fortes valeurs de résistance apparaissant à faible profondeur (autour de 10 Kg/cm²) dans certaines UMH pourraient donc être, au moins en partie, à l'origine de cet enracinement très superficiel, en particulier sur les parcelles sans labour TS, SS et MS. A ce propos, divers travaux, notamment ceux de MAERTENS (1964), TAYLOR et RATLIFF (1969), ZWIENIECKI et NEWTON (1994) et MOREAU et NAGUMO (1994) signalent l'étroite relation entre la résistance mécanique à la pénétration et le développement racinaire.

Il ressort de l'analyse des résultats que l'enracinement du maïs se réduit rapidement avec la profondeur et apparaît lié à la différenciation des UMH dans le profil cultural.

Dans tous les cas, l'enracinement du maïs n'excède pratiquement pas 30 cm de profondeur et ne pénètre pas dans l'horizon B2 non affecté par le labour.

Il apparaît, pour les UMH étudiées dans les 40 cm supérieurs du sol, qu'une corrélation de type logarithmique lie la densité racinaire du maïs (nombre d'impacts racinaires/dm²), à la résistance mécanique à la pénétration (RMP : kg/ cm²) (Figure II.3.16) selon l'équation:

$$\text{racines/dm}^2 = - 93,62 \ln \text{RMP} + 237,36, \text{ avec } r=0,9015 (P < 0,001) ; n=26$$

Ainsi, il apparaît que plus la RMP est élevée, moins l'enracinement du maïs se développe. La densité racinaire est toujours très réduite pour des volumes de RMP de l'ordre de 10 kg/cm².

En considérant les deux UMH incluses Ap2(sl)b et Ap2(ml)c évoquées plus haut, on peut faire les remarques suivantes au sujet de la relation entre densité racinaire et RMP :

- Ap2(ml)c de structure massive, avec la valeur de RMP la plus forte parmi toutes les mesures réalisées (14 kg/cm²) montre effectivement une valeur de densité racinaire faible qui contraste avec l'abondance de racines dans l'UMH environnant Ap2(ml)a plus meuble;

- paradoxalement Ap2(sl)b, décrite avec une faible cohésion et une RMP faible (1,6 kg/cm²), présente une densité également faible (34 racines/dm²), bien inférieure à celle de l'UMH

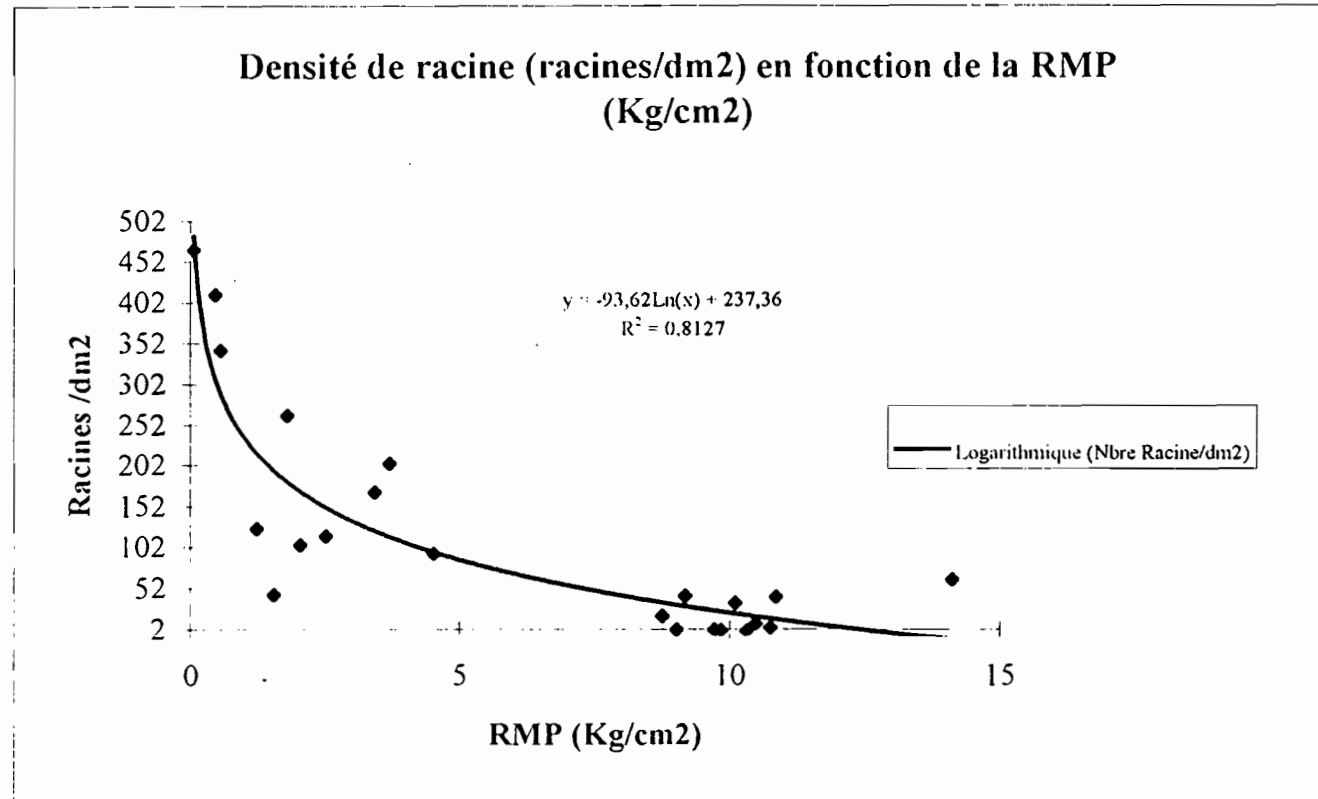


Figure II.3.16 : Influence de la résistance à la pénétration (RMP) sur l'enracinement (Racines/dm²) du maïs dans les unités morphologiques homogènes (UMH)

**Tableau II.3.11 : Différentes classes de valeurs de densité racinaire (Racines/dm²)
selon les unités morphologiques homogènes (UMH)**

Classes	Groupes homogènes	<i>TS</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>TL</i>	<i>SL</i>	<i>ML</i>
1	e				Ap1(tl) 191	Ap1(sl) 231	Ap1(ml) 291
2	d	A1(ts) 156	A1(ss) 163				
3	c			A1(ms) 123	Ap2(tl) 90	Ap2(sl)a 61 Ap3(sl) 89	Ap2(ml)a 130
4	b	A2(ts) 41	A2(ss) 39	A2(ms) 27	A2(tl) 26	Ap2(sl)b 34	Ap2(ml)c 49
5	a	B2(ts) 3	B2(ss) 0	B2(ms) 0	B2(tl) 8	B2(sl) 4	B2(ml) 2

Groupes homogènes établis d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %
p < 0,0001 ; n = 1437 données.

environnante Ap2(sl)a. On peut voir ce résultat comme l'effet des caractères de structure litée existant dans cette UMH et qui y contrarient le développement des racines.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION SUR L'ETUDE DU PROFIL CULTURAL ET DES UMH

L'étude comparative menée à différentes échelles d'appréhension du profil cultural montre une bonne adéquation entre les données obtenues sur le terrain (études morphologiques, pénétrométrie, densité d'enracinement du maïs), d'une part, et au laboratoire avec le porosimètre à mercure et la micromorphologie, d'autre part; et cela malgré l'existence de difficultés opératoires, en particulier, du fait de l'existence d'éléments grossiers en quantité notable dans le sol étudié. Une différenciation des UMH selon des caractères physiques bien spécifiques vis-à-vis d'aspects fonctionnels tels que la dynamique de l'eau du sol et les conditions d'enracinement du maïs peut être établie (Figure 17).

Ces résultats concordent pour bien distinguer les situations de défrichement sans labour, d'une part, et les situations de défrichement avec labour, d'autre part.

Le défrichement traditionnel (TS), semi-mécanisé (SS) ou mécanisé (MS) suivi de la mise en culture sans labour maintient les horizons superficiels A1, A2 et B2 en place, mais conduit toutefois à des dégradations de la structure de ces horizons ; l'horizon A11 disparaissant. L'importance des dégradations est fonction du mode de défrichement. Elles évoluent par degré croissant des parcelles traditionnelles aux parcelles semi-mécanisées et aux parcelles défrichées entièrement au bulldozer. Elles se matérialisent par la transformation de la structure macroagrégée grumeleuse sous forêt, en une structure peu fragmentaire à massive, associée à un accroissement de la résistance à la pénétration et à une baisse de la porosité grossière (diamètres supérieurs à 6 μm) du sol de plus de 40 %, selon les cas, par rapport à la forêt. Ce resserrement de la structure du sol offre ainsi des conditions de milieu moins favorables à l'aération et au drainage se trouvant certainement à l'origine de l'enracinement faible et superficiel du maïs. Au vu de ses fonctions, en tant que capteur d'eau et d'éléments minéraux, il serait la cause du faible développement du maïs constaté sur ces parcelles non labourées. L'enracinement diminue rapidement vers le bas, surtout sur les parcelles de défrichement semi-mécanisé ou entièrement mécanisé non labourées, et ne pénètre pas dans l'horizon B2 à structure mal développée et porosité grossière réduite ; il ne dépasse pas 20 à 30 cm de profondeur.

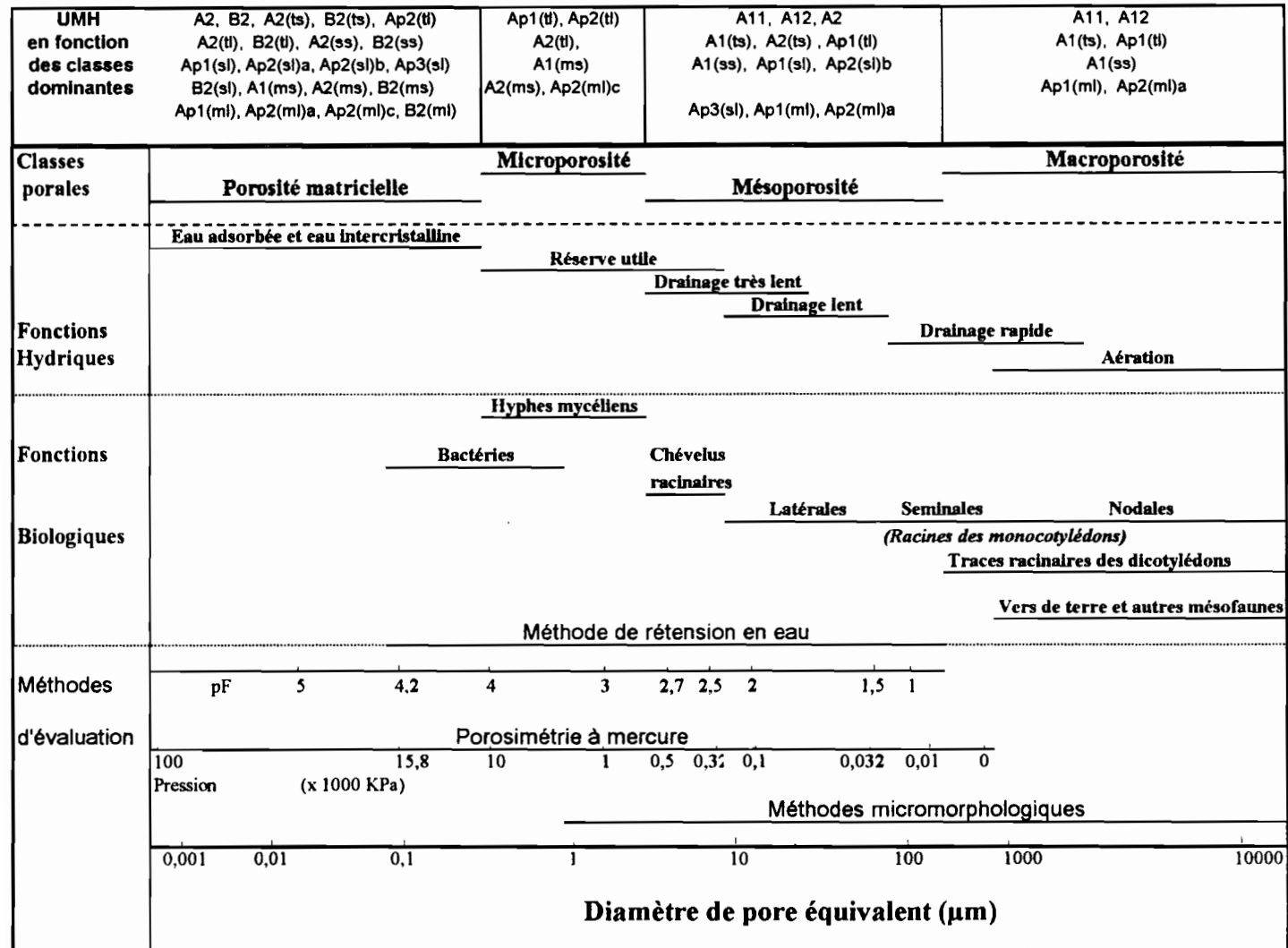


Figure 17 : Classification des pores en fonction de leur diamètre, leurs fonctions hydriques et biologiques, les différentes méthodes d'évaluation et localisation des UMH étudiées suivant les classes dominantes

(Résumé inspiré de Hamlin, 1985; Pedro, 1988; Chamayou et Legros, 1989; Kay, 1990)

Les défrichements traditionnel (tl), semi-mécanisé (SL) ou mécanisé (ML) suivi d'un labour (superficiel ou profond) entraînent une redistribution du matériel pédologique issu des horizons du sol forestier A1 et partiellement A2 pour le labour superficiel sur parcelles traditionnelles, ou des horizons A1, A2 et partiellement B2 pour le labour profond (30 cm) sur défrichements semi-mécanisé et mécanisé. Dans la couche labourée se distinguent différentes unités morphologiques homogènes (UMH) caractérisant une plus grande hétérogénéité du profil cultural. D'une façon générale, les horizons Ap se caractérisent par une faible résistance à la pénétration, un espace poral équilibré, peu dégradé par rapport à celui de la forêt et par un enracinement environ deux à trois fois plus abondant et plus profond (30 cm) que sur les parcelles non labourées, mais qui ne pénètre pratiquement pas, non plus, dans l'horizon B2.

Cependant, des volumes inclus plus compacts (Ap(ml)c) subsistant dans l'horizon de labour et peu pénétrés par les racines, sur les parcelles mécanisées (ML), témoignent des effets de compaction survenue au moment du défrichement entièrement mécanisé ; ces effets n'apparaissent pas dans le cas du défrichement semi-mécanisé. Une grande similitude existant entre les caractéristiques porales des ces unités compactées Ap2(ml)c et celles de l'horizon de surface A1(ms) de la parcelle non labourée MS appuie cette hypothèse. Malgré l'existence de ces unités sur les parcelles mécanisées (ML), les caractéristiques des profils culturaux et pour l'ensemble des trois situations de défrichement suivi de labour (TL, SL et ML), traduisent la durabilité des effets du labour à la fin du cycle cultural.

Les volumes inclus Ap2(tl)b existant dans la couche labourée des parcelles de défrichement semi-mécanisée (SL) sont friables mais également peu pénétrés par les racines. Leur structure comportant des figures de litages évoquent des caractères de croûtes de ruissellement, certainement déposées à la surface du sol, entre les billons, puis enfouies par le labour.

La configuration des profils culturaux des parcelles labourées SL et ML pose, avec l'existence des UMH incluses Ap2(sl) b et Ap2(ml)c, la question de l'influence des labours réalisés au cours des quatre années de culture.

Il est étonnant, dans le cas du défrichement semi-mécanisé labouré (SL) de trouver, encore en 1994, les UMH incluses : Ap2(sl)b, sous forme de bandes plus sombres que la terre environnante, disposées pour la plupart de façon oblique. cela rappelle les figures observées après le travail d'une charrue à soc à la suite d'un défrichement peu perturbateur, ayant laissé l'horizon humifère en place. Celui-ci apparaît, après le labour, sous forme de bandes obliques sombres alternant avec des bandes plus claires (ces dernières représentant la partie supérieure de l'horizon A2 qui constituait la base de la bande de labour), dans la couche remaniée.

En se souvenant des modalités de labour profond qui se sont succédées de 1991 à 1994: charrue à disque en 1991, travail à la houe en 1992, charrue à socs en 1993 et travail à la houe en 1994, on en déduit que ces bandes obliques Ap2(sl)b proviennent certainement du labour à la charrue à soc de 1993. La charrue à disques et le travail à la houe ne laissent, en effet, pas de phases distinctes aussi régulières.

Cela signifierait qu'en 1993 le sol de SL conservait encore une différenciation verticale nette, entre une couche supérieure sombre et une couche sous-jacente plus claire. C'est à dire que la profondeur du labour à la charrue à disques en 1991 et celle du labour manuel en 1992 n'avaient pas été suffisantes pour détruire l'organisation verticale héritée du sol forestier. Ensuite, l'existence d'une bonne partie des bandes sombres obliques héritées du labour de 1993 montre que le labour manuel de 1994 n'a pas non plus atteint partout la base de la couche précédemment labourée à la charrue à soc.

Sur les parcelles de défrichement mécanisé labourées (ML), les UMH incluses massives dans l'horizon de travail, Ap2(ml)c, provenant de tassements à la partie supérieure du sol, ont certainement aussi été enfouies par la charrue à soc en 1993. Le fait qu'elles existent en volumes plus nombreux dans la partie inférieure de la couche de labour traduirait également une influence plus faible du labour manuel de 1994, à ce niveau.

Il apparaît d'après la micro-morphostructure des UMH que l'organisation de ce sol ferrallitique comporte plusieurs degrés hiérarchiques d'organisation micro-structurale emboîtée, en équilibre en dehors de toute perturbation du milieu naturel. Le concept de la hiérarchie des agrégats du sol a été théoriquement discuté par DEXTER (1988) (cité par OADES et WATERS, 1991). Il a avancé que les gros agrégats sont plus poreux car ils contiennent les pores entre les petits agrégats plus denses. Ces gros agrégats sont aussi plus faibles car leurs macropores constituent des zones de faiblesse par lesquelles ils se rompent sous l'effet des stress.

Il se trouve qu'en condition de végétation naturelle, la stabilité du système pédologique est assurée par l'activité biologique de tout genre, entre autres, par l'action des racines des plantes par le biais des sécrétions mucilagineuses, les entrelacements de chevelus racinaires et hyphes mycéliens, le brassage par la mésofaune (vers de terre et termites principalement) dont les sécrétions mêlées à la matière organique assurent au système un certain équilibre. Le sol est alors caractérisé par une structure macroagrégée peu cohérente et poreuse. La liaison entre les macroagrégats est assurée en partie par de nombreux filaments mycéliens et par l'action de la matière organique hydrophobe qui protège le sol du contact brutal de l'eau (HENIN, 1969). Il a été montré, à cet égard que la mise en culture dégrade la stabilité structurale du sol. Le

défrichement suivi de la mise en culture entraîne une rupture d'équilibre au niveau du sol. Cette perturbation est due, d'une part, à l'action mécanique des machines lors des opérations de défrichement dans le cadre de la motorisation et, d'autre part, avec la modification du microclimat et l'agressivité accrue des agents atmosphériques, à la baisse de l'activité biologique générale due à la forte réduction et à la disparition à court terme des vestiges de la végétation initiale entraînant avec elle celle de la mésofaune (comme cela est montré au chapitre consacré aux acteurs fauniques), de la microfaune et de la microflore qui lui étaient associées. Les micro-organismes qui constituent, selon OADES (1984), les plus efficaces agents agrégeants du sol, tirent plus de 50 % de leur énergie de la rhizosphère. L'absence de racines vivantes entraîne leur baisse et leur disparition et, avec elle, l'effondrement de la structure du sol.

La microscopie électronique à balayage (MEB) a révélé, en effet, une forte colonisation du sol sous forêt par des racines et hyphes mycéliens assurant certainement la stabilité des macroagrégats. Ces remarques sont de même ordre que celles de OADES et WATER (1991) dans des mollisols et des alfisols ainsi que celle de TAMIA (1992) dans un sol calcaire sous vignoble de Roujean. Ces hyphes entrelaçants ne sont pas observés dans les échantillons issus des parcelles défrichées et mises en culture pendant quatre années consécutives. Seules des structures granulaires ferrifères d'origine biologique sont observées sur les parcelles cultivées. Ces ultrastructures assurent sans doute la stabilité de la structure du sol. Ceci rejoindrait les résultats de OADES et WATERS (1991) selon lesquels les oxydes de fer jouent un rôle de ciment dans les sols riches en oxydes. Les modifications du pédoclimat, des processus biologiques et les diverses contraintes culturales à la suite du défrichement et de la mise en culture, ont donc entraîné un émiettement des macroagrégats délimités par des pores grossiers en agrégats plus fins, devenant coalescents, sur les parcelles cultivées et conduit en une organisation massive dans les horizons supérieurs du sol non labouré A1 et A2.

La réduction de l'espace poral, constatée en porosimétrie à mercure et observée au microscope optique dans les UMH compactes, est donc due à la dispersion de la structure emboîtée sous forêt sous l'effet du défrichement et de la mise en culture. Ce phénomène de pulvérisation du sol, sous exploitation, en particules plus fines avait déjà attiré l'attention de MARTIN (1963) sur des sols ferrallitiques mécanisés de la vallée du Niari au Congo. Cette évolution se traduit par une réduction de la porosité grossière (pores $> 6 \mu\text{m}$) au profit d'une augmentation de la porosité fine (pores $< 6 \mu\text{m}$) allant généralement de paire avec un développement plus faible de la macrostructure, ainsi qu'avec une augmentation de la résistance

à la pénétration et une diminution du développement racinaire. Une corrélation négative significative a été établie entre la densité racinaire et la résistance moyenne à la pénétration.

Le resserrement de la porosité peut avoir des conséquences sur la disponibilité de l'eau, voire celle des nutriments pour les plantes cultivées (VIZIER *et al.*, 1995). La réduction de la macroporosité du sol conduit, malgré l'accroissement de la porosité nécessaire à la réserve en eau utile, à une augmentation de la distance de parcours des solutés du sol au point où s'exerce la succion (racine); la structure interne étant massive et peu explorée par les racines. Selon GARDNER (1960), cité par Tardieu (1989), la résistance aux transferts est fonction de la longueur du trajet que l'eau doit parcourir pour atteindre la racine la plus proche et de la conductivité hydrique du sol. Les travaux de TARDIEU (1989), travaillant sur l'alimentation hydrique du maïs en condition expérimentale, ont montré qu'elle est fonction de la densité des racines et de leur répartition spatiale dans la couche de sol considérée. Par ailleurs, CHAUVEL *et al.* (1991) ont montré que le volume d'eau extraite de pF1 à pF4 d'un latosol fragmenté par l'action des racines de *Pueraria* était 4 fois supérieur à celui du même sol lorsqu'il présente une structure interne continue malgré la dominance d'une porosité favorable à la réserve en eau utile aux plantes. Ceci révèle l'importance de l'état structural du sol sur le fonctionnement du système sol - plante.

Les déterminations micromorphologiques et porales confirment et précisent les résultats obtenus sur le terrain par l'observation de profils. On constate aussi aux échelles d'analyse les plus fines que la dégradation physique du sol apparaît, dans tous les cas d'observation, plus importante sur les parcelles défrichées entièrement au bulldozer, comme déjà signalé par CHAUVEL *et al.* (1991) sur des latosols en Amazonie brésilienne, que sur les parcelles de défrichement semi-mécanisé et celles défrichées manuellement. Ces dernières apparaissent les moins dégradées. C'est aussi à l'échelle des microstructures que l'on peut bien comprendre les raisons du développement racinaire plus faible dans les parcelles non labourées.

En restituant une structure fragmentaire bien développée avec une porosité continue et communicante et avec un spectre poral équilibré, proche de celui des horizons supérieurs du sol forestier, le labour se montre, dans tous les cas, favorable pour l'amélioration de l'enracinement du maïs, mais son effet se limite à la couche de sol travaillée.

Les racines ne pénètrent pratiquement pas dans l'horizon B2, où les paramètres étudiés sont toujours les moins favorables. Bien que cela ne se voit pas sur le terrain, cet horizon se

trouve aussi affecté par le défrichement, en montrant, par rapport au sol sous forêt, des marques d'évolution décelées par les mesures porosimétriques (réduction de la porosité grossière au profit de la porosité fine) et des observations micromorphologiques (présence de cutane). Cette évolution, qui tend à induire des caractères encore plus défavorables pour l'enracinement, est à lier à l'importance des modifications biologiques (en particulier la réduction de la faune du sol) et pédoclimatiques résultant de la déforestation.

*

Nous pouvons dire, au terme de cette étude, que tous les paramètres morphologiques et physiques considérés jouent en défaveur des traitements sans labour, et parmi ceux-ci, surtout du défrichement entièrement mécanisé. Ceci nous pousse à conclure que les caractères de dégradation structurale du sol sont de manière directe ou indirecte, par leurs conséquences sur les caractères fonctionnelles, notamment le comportement mécanique et le régime hydrique, à l'origine du mauvais développement racinaire du maïs, en particulier, sur les parcelles non labourées, où les rendements sont les plus faibles.

Le niveau de fertilité chimique est peu différent entre traitements issus du même mode de défrichement. Il ne peut donc être la cause des différences de production constatées.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude sur les modifications physiques d'un sol ferrallitique acide sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et leurs conséquences sur le développement du maïs, nous nous sommes évertués, grâce à une approche hiérarchique par échelle décroissante, à déterminer, d'une part, les caractères de dégradation que peuvent engendrer les différents modes de défrichement et les techniques de mise en culture sur le sol et, d'autre part, les conséquences des modifications morpho-structurales sur le fonctionnement du sol en tant que support agronomique.

Les lignes qui suivent font le point sur les méthodes utilisées, les résultats acquis et les recommandations que nous pouvons faire, au vu des expériences acquises tout au long de ce travail, pour une bonne gestion des sols, du moins, dans les périmètres de la zone étudiée.

1. LES METHODES

Compte tenue des limites de chaque type d'investigation, plusieurs méthodes de terrain et de laboratoire ont été associées de manière complémentaire pour arriver à couvrir toutes les échelles d'appréhension des caractères du sol. En raison du caractère graveleux du sol et des difficultés d'étude qui lui sont liées, il a fallu apporter des modifications à certaines méthodes, notamment d'investigation sur le terrain et, dans une certaine mesure, de laboratoire.

Les mesures de densité apparente au sable, de résistance à la pénétration à l'aide du pénétromètre à percussion verticale ont permis d'apprécier, avec les études de la stabilité structurale, l'évolution des caractères physiques du sol, par une caractérisation moyenne à l'échelle de la parcelle.

Les paramètres chimiques ont été déterminés à l'aide des méthodes d'analyse courantes.

Au niveau du profil cultural, l'usage du pénétromètre de poche (type Yamanaka), avec la considération des caractères de couleur, de structure, de cohésion, de porosité visible à l'oeil nu et la cartographie des impacts racinaires ont permis de distinguer de manière pertinente l'organisation du sol sous culture, en unités morphologiques homogènes (UMH).

La porosimétrie à mercure a permis une analyse, à la fois quantitative et qualitative, d'une large gamme de pores de diamètres compris entre 0,006 μm et 400 μm . Elle a également servi à rendre compte de la proportion relative des différentes classes de pores et de déterminer l'influence des traitements sur ces compartiments poreux. Cependant, l'insuffisance des

informations sur la configuration réelle des pores et sur l'architecture des micro-organisations nous a amenés à associer à l'analyse des spectres poraux, des observations micromorphologiques (caractérisation visuelle) au microscope optique, puis au microscope électronique à balayage.

2. RAPPELS DES RESULTATS

Les résultats acquis au cours de l'étude peuvent être résumés en considérant les trois principaux niveaux d'approche.

2. 1. A l'échelle parcellaire

L'étude du sol (0 - 20 cm) et celle de la culture du maïs conduisent à différents constats .

La *densité apparente*, en absence de labour, s'est révélée, au bout des quatre années de culture, significativement plus importante sur les parcelles semi-mécanisées et mécanisées que sur les parcelles traditionnelles. L'ordre croissant de classement est donc $T \ll S \ll M^*$.

La *résistance à la pénétration* (mesurée par percussion verticale) n'apparaît pas comme un paramètre discriminant des modes de défrichement. Néanmoins, les parcelles labourées ont présenté les plus faibles valeurs par rapport aux traitements ne comportant pas de labour.

Pour l'*indice d'instabilité structurale* de Hénin, il s'est révélé un effet, à la fois, du mode de défrichement et du type de travail du sol, avec des ordres de dégradation croissante : $T \ll S < M$ et $Tl \ll SL < ML^*$. Le sol des parcelles non travaillées et à labour superficiel ont une stabilité structurale significativement supérieure à celle du sol des parcelles labourées en profondeur.

* T : Défrichement traditionnel; S : Défrichement semi-mécanisé; M : Défrichement mécanisé; l : labour superficiel; L: labour profond
NT : parcelles sans travail du sol; \ll : significativement inférieur; $<$: tendance inférieure (différences non significatives, mais observées de façon répétée).

Le *potentiel chimique* (pH et bases échangeables) est resté à l'avantage des parcelles traditionnelles à la suite du brûlage réalisé au moment du défrichement : $S < M \ll T^*$. Il ne s'est pas révélé d'effet du travail du sol.

Les *rendements* sur les parcelles labourées, à l'inverse de la stabilité structurale se sont révélés supérieurs à ceux des parcelles non labourées, avec un avantage pour les parcelles traditionnelles labourées superficiellement (tl). Les ordres de classement sont: $NT^* \ll l$ et L^* avec $ML < SL < Tl$. Le meilleur rendement du maïs sur les parcelles traditionnelles labourées a été attribué à leur meilleur taux de levée (de l'ordre de 78 %).

Ce paramètre taux de levée a été le facteur limitant dans les situations de labour profond. Le faible taux de levée de ces parcelles, notamment celles défrichées entièrement au bulldozer, est dû à la mauvaise qualité de la stabilité structurale de l'horizon remanié et à l'hétérogénéité spatiale sur ces parcelles. La mauvaise stabilité structurale peut favoriser l'encroûtement superficiel du sol au moment du semis.

L'enracinement du maïs sur 30 cm de profondeur, considéré à l'échelle globale de la parcelle, ne s'est pas révélé comme un facteur discriminant entre les traitements. Seules des tendances favorables au labour se sont dégagées avec le classement $NT < l$ et L ; $Tl < ML < SL$. Nous remarquons donc qu'il n'y a pas de correspondance entre enracinement et rendement pour les parcelles labourées, avec les données obtenues à cette échelle de travail.

2. 2. A l'échelle intraparcellaire

Il s'est révélé une persistance des caractères d'hétérogénéité survenus à la surface du sol à l'issue des opérations de défrichement mécanisé ou semi-mécanisé. Ces caractères d'hétérogénéité se matérialisent par l'existence de zones sombres , A, et de zones claires , B, avec la présence de plages dégradées (encroûtement de surface) incluses dans les zones B, sur les parcelles entièrement mécanisées.

* : Cf. page précédente.

Il a été observé, pendant toute la durée des essais et notamment en 1994, une hétérogénéité dans le développement des plants de maïs, en rapport, de manière dominante, avec les types de zones A et B. En effet, dans les zones sombres A, les plants de maïs se sont en général bien développés (plants vigoureux) tandis que ceux des zones claires ont accusé une faible croissance (plants chétifs). Cela traduit une influence de ces zones sur la production du maïs.

Par ailleurs, des relations étroites mises en évidence entre le développement des parties aériennes, l'enracinement et le rendement ont montré l'impact négatif de l'hétérogénéité de la surface du sol sur la culture du maïs; les plants chétifs de faible enracinement produisant peu de grains et de biomasse en général.

La comparaison des proportions des types de plants entre les différentes parcelles a montré que les labours sur les blocs défrichés traditionnellement et ceux défrichés partiellement au bulldozer apporte une nette amélioration sur le développement des plants de maïs. Par contre, sur les parcelles entièrement mécanisées, le labour n'a pas permis d'amélioration dans le développement des plants de maïs dans les zones claires B.

Ce constat nous a amené à nous intéresser à l'organisation morphostructurale du sol en vue de rechercher les caractères pouvant être à l'origine d'un mauvais développement du maïs.

2. 3. A l'échelle du profil cultural et des UMH

La première analyse, basée sur les caractères fondamentaux du matériel pédologique tels que la couleur, la texture, la structure et la localisation des UMH a fait ressortir différents constats sur les effets du défrichement et du travail du sol sur le profil cultural.

Le *défrichement* suivi de la mise en culture sans labour a entraîné une dégradation de la structure des deux premiers horizons A1 et A2 supérieurs du sol forestier; le sol étant devenu plus compact et plus cohérent, avec une réduction de la porosité interagrégat par rapport à son état très aéré sous végétation naturelle. Cette dégradation du sol s'est faite par degré croissant en fonction de l'ampleur des contraintes liées aux modes de défrichement. Le sol apparaît donc moins affecté sur les parcelles issues du défrichement traditionnel (TS) que sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Entre les deux derniers modes de défrichement, le sol est plus compact sur les parcelles entièrement défrichées au bulldozer (MS) que sur celles où le bulldozer n'a été utilisé que partiellement (SS).

Les faibles modifications morphologiques engendrées par le *labour superficiel* sur les parcelles défrichées traditionnellement (tl), à cause de la faible profondeur (5 à 10 cm) concernée, se limitent à l'horizon superficiel A1. Le *labour profond* au tracteur, quant à lui, a entraîné le remaniement et le mélange de 30 cm de la partie supérieure du sol, atteignant l'horizon B2. Il a engendré, ainsi, une plus grande diversité d'unités morphologiques homogènes (UMH) de caractères (couleur, texture, structure, cohésion) différents.

Ainsi, contrairement aux parcelles non labourées (TS, SS et MS), avec des horizons mal structurés, les parcelles de labour (Tl, SL et ML) présentent des UMH Ap1 et Ap2, avec des caractères structuraux plus proches de ceux des horizons supérieurs sous forêt témoin, bien qu'il existe des UMH Ap2(ml)a plus compactes dans la couche remaniée des parcelles défrichées entièrement au bulldozer (ML).

L'analyse du spectre poral associée à la micromorphologie des UMH a révélé que les caractères structuraux décelés à l'échelle du profil cultural concordent avec l'organisation interne du sol jusqu'à l'arrangement des particules fines du sol.

Les horizons ou les unités morphologiques peu cohérents présentent des spectres poraux dominés par des classes porales de grand diamètre ($> 6 \mu\text{m}$), dus à une organisation interne lâche, caractérisée par une architecture porale formée de pores d'entassement entièrement ouvert et communicants. Ces volumes sont associés aux densités racinaires les plus élevées.

Les UMH caractérisées comme compactes présentent un réseau poral plus réduit dominé par des pores fins de diamètre $< 6 \mu\text{m}$ et fermés, avec une dominance de pores fissuraux étroits ou de cavités isolées dans une matrice de sol continue. La tendance à l'orientation des particules fines de sol (observations au MEB) dans l'horizon A1(ms) et l'UMH Ap2(ml)c, issus des parcelles initialement défrichées au bulldozer, traduit l'empreinte des tassements du sol sous l'effet de contraintes mécaniques au moment du défrichement.

Les conséquences de telles caractères morpho-structuraux du sol sur son fonctionnement biologique, hydrique et minéral justifient la répartition hétérogène des racines du maïs dans le profil cultural, avec un développement préférentiel dans les UMH peu compactes.

Cette étude morphostructurale justifie également le développement différentiel des plants de maïs en fonctions des différents états de surface; les zones claires B ayant des caractères d'affinités physiques avec les UMH compactes favorisent peu l'enracinement et le développement des parties aériennes des plants de maïs. L'existence de ces zones semble être aussi à l'origine de la plus

mauvaise levée du maïs sur les parcelles mécanisées et labourées en profondeur et, par conséquent, des faibles rendements sur ces parcelles.

Cette étude montre ainsi, l'importance des contraintes exercées sur le sol au moment du défrichement et ses conséquences sur le fonctionnement futur pendant sa mise en culture. Ce constat nous amène donc à faire des propositions concrètes pour essayer d'éviter ou de ralentir l'apparition de trop fortes détériorations du potentiel de fertilité, surtout, physique, mais aussi biologique et chimique de ce type de sol ferrallitique. Les différentes composantes de fertilité du sol agissent, en effet, ensemble pour une productibilité optimum des sols cultivés.

3. RECOMMANDATIONS

Le constat général qui ressort de cette étude confirme bien l'importance des dégradations, surtout physiques mais aussi chimiques et biologique du sol ferrallitique étudié sur le site de Bécédi, sous l'effet du défrichement de la forêt et de la mise en culture. Ces dégradations concernent notamment :

- l'effondrement de la structure du sol à cause des modifications du pédoclimat auquel est associée la forte diminution de la faune et microflore du sol et de son activité;
- l'accroissement de la densité apparente sous l'effet du défrichement puis de la mise en culture;
- l'augmentation de la résistance à la pénétration;
- la dégradation de la stabilité structurale;
- la réduction de l'espace poral du sol (essentiellement de la porosité grossière au profit de la porosité fine).

Un certain nombre d'actions s'avèrent nécessaires, dans le cas des cultures vivrières, pour remédier à la dégradation du sol. Ces interventions concernent, d'une part, la couche supérieure directement exposée et impliquée dans les interactions entre le sol, la plante et les interventions techniques et, d'autre part, les horizons de profondeur B2 où peuvent aussi se poser des problèmes de réduction de la porosité, matérialisée par l'existence de cutanes.

Pour ce faire, les conseils que nous essayons de prodiguer doivent viser à éviter le compactage du sol et l'épuisement rapide du potentiel de fertilité, à lutter aussi contre les mauvaises herbes qui, dans une certaine mesure, peuvent constituer un handicap à la rentabilité des cultures.

Nous pensons qu'il n'existe pas de modèle préconçu applicable à toute situation donnée. Les recommandations doivent être adaptées à des situations de culture bien définies et aux moyens techniques dont disposent les exploitants. C'est-à-dire, qu'il faut considérer le cas du petit paysan qui opère avec des méthodes traditionnelles rudimentaires jusqu'à celui du gros agriculteurs utilisant des moyens mécaniques à tous les niveaux. Notre intervention n'a concerné que trois types de systèmes culturaux (traditionnel, semi-mécanisé, et mécanisé) répartis en six sous systèmes. Aussi, les recommandations sont essentiellement centrées sur ces trois systèmes.

3. 1. La situation de défrichement et de mise en culture traditionnels.

Pour ce qui est du système traditionnel, nous pensons, au vu des résultats acquis sur la période relativement courte des quatre années de conduite des essais sur le site IBSRAM de Bécédi et des qualités chimiques peu étoffées qui se rattachent aux sols ferrallitiques forestiers, que le brûlis est incontournable. Aussi, doit-il se faire selon des normes à respecter.

L'essartage de la forêt doit être précoce et effectué en saison sèche afin de permettre un temps de séchage relativement long (au moins 1 mois), afin de réaliser un brûlage efficace pour restituer au sol une fraction de la minéralomasse forestière. Cet apport en fertilisant naturel par les cendres est nécessaire pour pallier aux carences minérales, diminuer l'acidité et enrayer la toxicité aluminique souvent associée à ces sols et assurer une bonne productivité, dans un système sans intrant.

Il est préférable, après le brûlage, de laisser sur les parcelles, les résidus non brûlés (branchages, troncs et souches d'arbre, feuillage) pour assurer une durée plus longue du stock en matière organique et de l'activité biologique.

Quant aux techniques culturales à venir, nous conseillons, à partir de la deuxième année, un minimum de labour dans le but de favoriser l'enracinement des plantes cultivées. En effet, la structure du sol a tendance, hors des conditions de végétation naturelle, à s'effondrer sous l'effet des changements des conditions écologiques et de la diminution de l'activité de la faune du sol. Ce phénomène semble s'opérer avec plus d'acuité sur les sols issus de schistes birrimiens, riches en sables fins et très fins. Comme nous l'avons noté lors de notre étude à tous les niveaux d'échelle, le sol se tasse pour aboutir à une structure compacte à forte densité et résistance à la pénétration, non favorable au développement racinaire du maïs.

Il a été aussi constaté que l'horizon non labouré, de par sa structure moins fragmentaire et son organisation peu aérée, constitue un front de labour qui crée une rupture dans les conditions de

développement des racines. C'est le cas de l'horizon A2(tl) sur les parcelles traditionnelles avec un labour superficiel, tandis que sur les parcelles labourées en profondeur, c'est l'horizon B2 qui constitue le front de labour. Il est utile que la profondeur du labour soit aussi importante que possible, mais en évitant le retournement du sol. Ceci permettrait de réduire d'une part, les effets de la discontinuité structurale entre l'horizon labouré et la couche non remaniée en place, sur l'enracinement des plantes cultivées et, d'autre part, d'éviter les dégradations structurales rapides de la couche remaniée.

Pour les exploitations de longue durée, l'action des outils manuels peut s'avérer inefficace pour décompacter les couches non labourées, qui dans ces conditions, auront tendance à durcir davantage avec le temps de mise en culture. Dans ces conditions, il convient d'associer aux cultures vivrières, des jachères de courte durée (1 à 3 ans) de légumineuses rampantes (*Pueraria sp.* ou *Mucuna sp.*) dont les qualités pour le détassement du sol et sa restructuration par les très nombreuses racines ont été démontrées dans bien des situations. L'association des cultures vivrières (le maïs, l'arachide, l'igname, le manioc et le riz) à des légumineuses arborées à enracinement profond, comme l'*Acassia sp.* ou avec des cultures de rente comme d'hévéa (*Hevea brasiliensis*), testées par l'IDEFOR en Côte d'Ivoire, peut également s'avérer salutaire. Dans tous les cas, l'usage d'autres plantes, soit en association avec les cultures vivrières pendant le même cycle cultural, soit en jachère intercalaire, assure le maintien et un apport important en biomasse au sol, avec un enrichissement en azote minérale du sol, surtout s'il y a des légumineuses.

Les pratiques de rotation des cultures, avec des alternances de cultures de plantes à tubercules (manioc, patates douces) ou à gousses (arachides) avec des cultures de plantes céréalières comme le maïs, paraît bénéfique. Ces plantes entraînent un détassement quoique superficiel du sol au moment des récoltes.

Sur le site de Bécédi, la séquence de maïs-arachide sur les parcelles traditionnelles labourées à la houe s'est révélée performante. Aussi, des associations manioc-arachide et igname-arachide conduites sur le site voisin par Godo (Sols Acides) se sont également révélées rentables. Ces systèmes devraient être portés à la connaissance du monde paysan dans cette région.

3. 2. La situation de défrichement et de mise en culture semi-mécanisée ou mécanisée.

Pour ce qui concerne ces deux systèmes modernes, notre choix se porte sur le système semi-mécanisé. Compte tenu de la vulnérabilité des sols ferrallitiques forestiers tropicaux face à la

mécanisation lourde, nous pensons qu'il convient, pour les grandes exploitations où l'usage de la machine est incontournable :

- de procéder d'abord à un essartage manuel du sous-bois avant l'intervention du bulldozer; ceci permet de minimiser l'impact des machines, lors des opérations d'abattage des arbres, sur la surface du sol;

- dans les deux situations de défrichement et de mise en culture semi-mécanisés ou mécanisés, le brûlis de la biomasse végétale abattue est utile pour améliorer le niveau de fertilité chimique du sol, comme dans le cas du système traditionnel. L'apport d'éléments minéraux par les cendres au départ permettrait de réduire quelque peu les dépenses liées à la fertilisation chimique.

Nous avons constaté, pour le site IBSRAM de Bécédi, que la mise en culture sans travail du sol conduit à des dégradations rapides et importantes (le tassement rapide entraînant un fort accroissement de la densité apparente, de la résistance à la pénétration et la réduction de l'espace poral du sol). Pour éviter cette évolution, l'association d'un labour dans de tels systèmes est nécessaire et doit comporter certains détails importants.

La couche remaniée doit être assez homogénéisée pour réduire la proportion des volumes de sol peu favorables au développement racinaire, comme les UMH Ap2(sl)b comportant des lits de sable, des parcelles semi-mécanisées, ou les Ap2(ml)c compactes des traitements entièrement mécanisés.

Pour faciliter l'enracinement en profondeur du maïs ainsi que d'autres cultures saisonnières, le labour doit être assez profond. Cependant, il existe des risques de dégradations structurales (formation de croûtes superficielles) et de toxicité aluminiques liés au mélange de terre de profondeur. Au niveau de l'horizon de profondeur B2, il se pose des problèmes de colmatage de la porosité; il faudrait donc aussi maintenir une activité biologique (faune, racines) utile pour l'aération du sol.

Dans ce système, également, l'association de cultures de légumineuses et surtout de graminées comme le *Panicum maximum* à enracinement puissant permet de préserver et d'améliorer les qualités physiques et chimiques du sol. Les rotations de cultures sont également à conseiller.

Pour le cas particulier des zones dégradées à l'issue de décapages lors des opérations de défrichement qui affectent les rendements sur les parcelles mécanisées, l'introduction d'une

association systématique d'un cycle intercalé de *Mucuna* entre deux cycles de maïs pourrait s'avérer bénéfique pour ameublir le sol de ces zones.

*

Que ce soit dans les systèmes traditionnels ou les systèmes semi-mécanisés et mécanisés, l'incorporation superficielle dans le sol des résidus de récoltes ou de sarclages est bénéfique. Les résidus restés à la surface du sol, sous forme de mulch, même s'ils protègent le sol contre le ruissellement et l'érosion, sont peu profitables du point de vue de l'enrichissement du sol en minéraux et en matière organique. Il convient dans tous les cas de favoriser la production et la restitution de matières organiques, avec le maintien d'une faune active dans le sol.

Des systèmes associant les vivriers aux cultures pérennes (caféier, cacaoyer) sont en cours d'essai, par exemple dans le cadre du projet IBSRAM d'Abengourou, également en région forestière en Côte d'Ivoire. Ceci répond à la politique agricole actuelle de la Côte d'Ivoire au moment de la relance caféière et cacaoyère en zone forestière. De telles associations vivriers-cultures de rente constituent également une contribution à la recherche de solutions à l'insuffisance de production en vivriers, pour l'amélioration de la rentabilité des espaces cultivés et pour la réduction de nouvelles défriches. La restriction foncière commence, en effet, à se poser avec de plus en plus d'acuité compte tenu de la réduction de la superficie du massif forestier.

Pour terminer, il convient de rappeler que les essais sur le site de Bécédi se sont déroulés pendant quatre années consécutives, au cours desquelles les rendements en maïs ont été largement supérieurs à la moyenne nationale (0,9 t/ha). Ce qui montre que la stabilisation de l'agriculture, même sur ces sols ferrallitiques graveleux en Côte d'Ivoire est possible avec une fertilisation modérée. Il conviendrait toutefois que ces résultats soient confirmés sur un nombre d'années plus important.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AGBOOLA A. A., 1994 - A repice for continuous crop production in the forest zone of western Nigeria. In - Alternatives to slash and burn agriculture. 15th world congress of soil science, Acapulco, Mexico, July 1994. Eds. P. A. Sanchez and H. Van Houten. International Society of soil science. 107-120.
- AHLGREN I.F. and AHLGREN C.E. , 1965 - The effect of prescribed burning on soil microorganisms in minnesota jack pine forest. *Ecology*, 46, 304 , 310.
- AHLGREN I.F. , 1974 - The effect of fire on soil organisms. in. "*Fire and ecosystems.*" T.T. Kozlowiski and C. E. Ahlgren (ed.). Academic Press, New , York. pp. 47 , 72.
- ALEGRE J. C., CASSEL D. K. AND BANDY D. E. , 1986 - Effect of land clearing and subsequent management on soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 50, 1986. 1378-1384.
- ALEGRE J. C. and CASSEL D. K., 1986 - Effect of land clearing methods and poste clearing management agregate stability and organique carbon content of a soil in the humic tropics. *Soil Science November 1986 Vol. 142, n° 5.*
- ALEGRE J. C., CASSEL D. K. and BANDY D. E., 1986 - Reclamation of an ultisol damaged by mechanical land clearing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50. 1026 , 1031 (1986).
- ANGERS A. D., and CARTER M. R., 1995. Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils. *ISBN 0-87 371-88 9-5 by Lewis Publishers.*
- ANGERS D. A., SAMSON N. and LEGERE A., 1993. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73 - 51 - 59 (feb. 1993).
- ASSA A. et BOA D., 1990 - Caractéristiques porales des sols ferralitiques du Nord , Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agron. Afr.*, 2 (2) 1990 95 , 104.
- AUDRY P., COMBEAU A., HUMBEL F. X., ROOSE E., VIZIER J-F., 1973 - Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. *Bulletin de groupe de travail - ORSTOM, Bondy, Multigr.*
- BACHELIER G., 1973 - Faune des sols et termites. *Les sols ferrallitiques tome IV; La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. Initiations - Documentations techniques n° 21, Orstom, Paris 1973, p. 107 - 146.*

- BAIZE D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. Choix-expression-présentation-interpretation. INRA, Paris 172p.
- BANO L. F. de and KRAMES J. S., 1966 - Water repellent soil and their relation to wildfire tempetures. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Bull.*, 11^e année, n°2, 14 , 19.
- BANO L. F. de, MANN L. D. and HAMILTON D. A., 1970 - Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34. 131 , 133.
- BANO L. F. de, SAVAGE S. M. and HAMILTON D. A., 1976 - The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40. 779 , 182.
- BANO L. F. de, DUNN P. H. and CONRAD C. E. , 1977 - Fire's effect on physical and chemical properties of Chaparral soils. *Proceedings of the symposium of environmental consequences of fire and fuel management in mediterranean ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report WO,3*, 65 , 74.
- BARLEY K.P.,GREACEN E.L., 1967 - Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots.*Adv. in Agron.* 19 - 1-43
- BARTOLI F., PHILIPPY R. and BURTIN G., 1992 a - Influence of Organic Mater on Aggregation in Oxisols sich in gibbsite or goethite. I. Structure - The fractal approach. *Geoderma*, 54 (1992) 231 - 257.
- BARTOLI F., BURTIN G. and GUERIF J., 1992 b - Influence of Organic Mater on Aggregation in Oxisols sich in gibbsite or goethite. II. Clay dispersion, aggregate strenth and water-stability. *Geoderma*, 54 (1992) 259 - 274.
- BENOIT G. R. and KIRKHAM D., 1963 - The effect of soil surface conditions on évaporation of soil water. *Soil Sci.. Soc. Am. Proc.* 27. 495 , 498. 1963.
- BETRAMIEUX R., LE BORGNE E., MONNIER G., 1960 - Eviolution de certaine propriétés du sol sous l'influence du chauffage. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 251 - 2753-2765.
- BILLOT J.F.,1982 - Les applications agronomique de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. *Bul. A.F.E.S. Sci. du sol*, n° 3 - 187-201
- BISHOCHA K. MENE, BOLOY N., 1995 - Utilisation des sols de termitières et de paille sèche d'arachide comme fertilisants en cultures maraîchères à Yangambi (Zaïre). *Cahiers agricultures* 1995; 4 - 125-8.

- BLIC Ph. de, 1972, 1976 - Evolution des caractères des sols sous l'effet du défrichement et des traitements culturels. *Doc. ORSTOM. Opérations menées en Côte d'Ivoire de 1972 à 1976.*
- BLIC Ph. de, 1976 - Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée. Rôle des traits hérités du milieu naturel. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol. XIV, n° 2, 1976. 113, 130.*
- BLIC Ph. de et MOREAU R., 1977 - Evolution des caractères structuraux des sols ferrallitiques sous l'effet d'une mise en culture mécanisée récente en Côte d'Ivoire préforestière. *Congrès, International Institute of Tropical Agriculture Ibadan, Nigeria, 6, 10 Dec. 1977.*
- BLIC PH. de, 1990 - L'examen du profil cultural - un outil pour mieux comprendre le comportement du sol soumis à des travaux aratoires. *In Organic matter management and tillage in humid subhumid Africa. IBSRAM proceedings n°10, Bangkok, pp 385 - 399.*
- BLONDEL D., 1965 - Premiers éléments sur l'influence de la densité apparente du sol sur la croissance racinaire de l'arachide et du sorgho. Ses conséquences sur les rendements. *Coll. Sur la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols à Khartoum (8 - 11 nov. 1965), EAU/STUC. Comm. N° 37, 173-181.*
- BOA D., 1989 - Principales aptitudes et contraintes des sols du bassin. L'importance des gravillons. *IIRSDA Côte d'Ivoire.*
- BOA D., 1990 - Caractéristiques morphologiques des gravillons ferrugineux sur le bassin versant de Booro, Borotou. *Agron. Afr., 2 (2) 1990 P 83, 94.*
- BODOT P., 1967 - Etude écologique des termites dans les savanes de Basse Côte d'Ivoire. *Insectes sociaux. Masson éd. (Paris), 14, 3, 229-258.*
- BOKA A. M-Th., 1986 - Modifications physiques d'un sol ferrallitique sous l'effet du défrichement lourd motorisé. *Mémoire de DIAT (ESAT). Montpellier. 48 pages.*
- BOISSEZON P. de, 1967 - Etude pédologique de la zone vulnérable de l'IROBO. ORSTOM, Ministère de l'Agriculture (Convention forestière) T. 1, 78 p. multigr.
- BOISSEZON P. de, 1973 - La matière organique des sols ferrallitiques. dans *Les Sols Ferrallitiques tome IV. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques Initiations - Documentation Techniques N° 21. Orstom Paris 1973. p. 9 - 66.*
- BOUSQUIE P., 1979 - Texture et porosité de roches calcaires. Relations avec la perméabilité, l'ascension capillaire, gélivité et conductivité thermique. Thèse Docteur-Ingénieur, Paris VI, 191 p.

- BOYER P., 1958 - Influence des remaniements par le termite et de l'érosion sur l'évolution pédogénétique de la termitière épigée de *Bellicositermes rex*. C.R. Acad. Sci. (Fr.), T. 247, n° 9, 749-751.
- BOYER P., 1969 - Les effets de l'implantation des termitières de *Bellicositermes* sur la configuration des sols des savanes de la republique centrafricaine. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, T. 41, 2^e sér., n° 3, 789-800.
- BOYER P., 1971 - Les différents aspects de l'action des termites sur les sols tropicaux. In - «*La vie dans les sols*», Gautier-Villars Ed., Paris, 472 p., 279-334.
- BOYER, 1978, cité par Ngoran K. et Snock J., 1987.
- BOYER P., 1982 - Quelques aspects de l'action des termites du sol sr les argiles. *Clay Miner.* 17 - 453-462.
- BRADY N.C., 1996 - Alternatives to slash-and-burn - a global imperative. *Agriculture, Ecosystems and environnement.* 58, 3-11.
- BREWER R., 1964 - Fabric and mineral analysis of soils. *John Wiley and Sons, New York.*
- BRIAN J., KWOW-CHOING, 1988 - The structure and diagenesis of rhizoliths from Cay man Brac, British West Indies. *J. of Sedimental Petrology*, Vol. 58, n° 3 - 457-467.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T., BABEL U., 1985 - Handbook for soil thin section description. *Waine Research Publ. (U.K)*, 152 p.
- CALIMAN J-P., OLIVIN J., DUFOUR O., 1987 - Dégradation des sols ferrallitiques sableux en culture de palmiers à huile par acidification et compaction. Méthodes et correction. *Oléagineux*, vol. 42, n° 11 - 393-401.
- CALIMAN J.P., 1990 - Dégradation de propriétés physiques conditionnant la fertilité des sols sous culture de palmier à huile en Côte d'Ivoire. Essai de correction. Thèse doc.ès.sc. sc.du sol. Univ. Bourgogne. 219p.
- CALIMAN J-P., 1995 - Aménagement des terrains pour conserver et restaurer la fertilité physique des sols sous culture de palmier à huile en Côte d'Ivoire. In - *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du seminaire 13-17 Nov. 1995 CIRAD Montpellier.* 104-105.
- CANS R., 1996 - Les foët tropicales ont évolué au gré des variations climatiques. *Le Monde*, 17.04.96 - p 18

- CARVALHO S. R. et *al.*, 1991 - Tassement des sols ferrallitiques podzolico vermelho amarelo sous culture de canne à sucre. Apport d'une analyse de la porosité associée à une connaissance détaillée de la phase minérale. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol XXVI n°3, 195 - 212
- CHAMAYOU, H. et Legros JP., 1989 - Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Collection Techniques Vivantes. Agence de Coopération Culturelle et Technique. P. U. F. Paris.
- CHARREAU C., 1970 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Tome II. IRAT. Sénégal* 166p.
- CLINNIK P. F. and WILLAT S. T. , 1981 - Soil physical and chemical properties measured in an "ashbed" following windrow burning. *Aust. For.*, 44 (3), 185 , 189.
- COLEUILLE H., 1993 - Approche physique et morphologique de la dynamique structurale des sols. Application à l'étude de deux séquences pédologiques tropicales. Thèse en Pédologie Paris VI, 353 p.
- COLLINET J. et VALENTIN C. , 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives, applications agronomiques. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.*, Vol. XVII, n° 4, 1979. 183 , 328.
- COLLINET J. , 1984 - Hydrodynamique superficielle et érosion comparée de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire). *Challenges in African Hydrology and water resources (proceedings of the Harare symposium, July 1984). IAHS Publ. n° 144.*
- COLLINET J., COUTURIER G., GUILLAUMET J-L., KAHN F., MOREAU R., SANGARE Y., 1984 - Le système cultural et ses contraintes. In - Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide - Le projet Taï de Côte d'Ivoire. Rapport technique du MAB 15, UNESCO. 113-184.
- DABIN B., 1965 - Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, III (4) - 355 - 366.
- DECAENS T., LAVELLE P., JIMENEZ JAEN J. J., ESCOBAR G. and RIPPSTEIN G., 1994 - Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Lianos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.*, 1994, 30 (4), 157 - 168.
- DEKA H. K. and MISHRA R. R. , 1983 - The effect of slash burning on soil microflora. *Plant and soil* 73, 167 , 175 (1983).

- DELOR C. DIABY I., TASTET J-P., YAO B., SIMEON Y. VIDAL M. et DOMMAGET A., 1992 - Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000; *Feuille d'Abidjan*, 1ière édition, Mémoire n°3.
- DE ROUW A., 1991 - Rice , weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest. A study of vegetation dynamics. Proefschrift Landbouwwuniversiteit te Wageningen. 263p.
- DE ROUW A., 1993 - Influence du raccourcissement de la sur l'enherbement et la conduite des systèmes de culture en zone forestière. In - La jachère en Afrique de l'Ouest. Colloques et séminaires. Editions ORSTOM, Paris - 257-266.
- DE ROUW A., 1994 - Effect of fine on soil , rice, weeds and forest regrowth in a rain forest zone (Côte d'Ivoire). *Catena* 22, 133-152.
- DIAMOND, S., 1970 - Pore size distribution in clays *Clays Clay Miner.* 18, 7-23
- DUPUY B., 1995 - La place des arbres forestiers fixateurs d'ozote dans l'entreteins ou la régénération de la fertilité des milieux tropicaux humides. In. - Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire 13-17 Nov. 1995, Montpellier. 350-357.
- ELLIS R. C. and GRALEY A. M. , 1983 - Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rainforest. *Plant and Soil* 74, 437 , 450 (1983).
- FASSBENDER H. W., 1975 - Experimentos de laboratorio para el estudio del efecto del fuego de la quema de restos vegetales sobre las propiedades del suelo. *Turrialba*, 25, 3, 249-254.
- FIES, J.C., 1984 - Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelettes - comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4(9), 891-899
- FITZPATRICK E.A., 1980 - The micromorphology of soils. *Dept. of Soil sci., Amsterdam* 1 - 46-48.
- GARNIER-SILLAM E., 1987 - Biologie et rôle des termites dans les processus d'humification des sols forestiers tropicaux du Congo. Th. Sci., Univ. Paris XII, 276 p.
- GARNIER-SILLAM E., VILLEMIN G., TOUTAIN F. ET RENOUX J., 1987 - Contribution à l'étude du rôle des termites dans l'humification des sols forestiers tropicaux. *Actes de la VIIème Réunion Internationale «Micromorphologie des Sols/Soils Micromorphology»*. AFES, Paris. pp. 331-336.

- GAUTRONNAEU Y., MANICHON H., 1987 - Guide méthodique du profil cultural. CEREF GEARA. Lyon. 69 p.
- GILOT C., LAVELLE P., BLANCHART E., KELI J., KOUASSI P., and GUILLUME G., 1995 - Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. *Acta Zool. Fennica* 196, - 186 - 189. Helsinki 28 February 1995.
- GNAMBA A. S. , 1986 - Quelques effets du défrichement motorisé sur certains types de sol de Côte d'Ivoire. *Mémoire pour l'obtention du D. A. A. Option Agropédologie (ENSA , ABIDJAN)* 55p.
- GNAMBA A. S., 1987 - Activité biologique des types de surface observés après différent modes de défrichement des sols du bas Cavaly. *Mémoire de DEA en Ecologie Tropicale, Sept. 1987 (Univ. Côte d'Ivoire FAST., Sci. de la Terre), 25 P.*
- GODEFROY J., CHARPENTIER J-M. ET LOSOIS P., 1969 - Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie. *Fruits - Vol. 24, n° 1, 1969.*
- GODO G., Yoro G., Goue B., Affou Y., 1989 - Caractérisation physique et socio,économique du site expérimental IBSRAM de Bécédi Sous Préfecture de Sikensi. Rapport technique n°1 IBSRAM, ORSTOM Adiopodoumé, 32 p.
- GOODLAND R. J. A., 1965 - Termitaria in a savana ecosystem (effects on soil chemistry). *Canadian J. Zool.*, 43, 4, 641-650.
- GUILLAUMET J. L., ADJANOHOUN E., 1971 - La végétation de Côte d'Ivoire. in - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Mém. Orstom, 50 Paris, 157-263.
- HAMBLIN A.P., 1985 - The influence of soil stucture on water movement, crop root growth and water uptake. *Advan. Agron.*, 38 - 95-158.
- HARRIS W. V., 1971 - Termites. Their recognition and Control. Longman éd. (Londres), 187 p.
- HARTMAN C., 1991 - Evolution et comportement de sols sablo-argileux ferrellitique sous culture de palmier à huile. Cas de la plantation R. Michaux à Dabou (Côte d'Ivoire). Thèse, Paris VI. 201 p.
- HAYNES R. J., SWIFT R. S., 1990 - Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41 - 73-83.

- HAYNES R. J., SWIFT R. S., and STEPHEN R. C., 1991 - Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water - stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil Till. Res.* 19 - 77-87.
- HENIN S., GRAS R., et MONNIER G., 1969 - Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. *Masson et Cie, Editeurs, Paris.* 332 p.
- HINTZE B., 1993 - Technical report and land development for sustainable agriculture in Africa. IBSRAM/AFRICALLAND 1988-1992. Network Document n°5 Bangkok, Thailand - IBSRAM, 136p.
- IITA .- 1979 - IITA Research Highlights. OYO Road, PMB 5320, Ibadan, Nigeria, April 1980, P 12 - 13.
- JACQUIN F., 1978 - Influence de la matière organique sur la structure du sol. *ENSIA - Nancy*, p. sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec. *Can. J. Soil Sci.*, 56 - 373-383.
- JAILLARD B., 1982 - Relation entre dynamique de l'eau et organisation morphologique d'un sol calcaire. *Sc. du sol*, n° 1 - 31-51.
- JANEAU J. L. et VALENTIN C., 1987 - Relation entre les termites Trinervitermes s.p. et la surface du sol - réorganisations, ruissellement et érosion. *Rev. Ecol. Sol*, 1987, 24 (4) - 637 - 647.
- KAHN F., 1982 - La reconstitution de la forêt tropicale humide, Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Mem. ORSTOM* 97, Paris, 91p.
- KAMPRATH J. E., 1970 - Exchangable aluminium as a criteria for liming leached mineral soils - *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34. 252 - 257.
- KAY B. D., 1990 - Rate of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 369-381.
- KOUADIO A. M. C., KELI J. Z., GOUE B., OBOUAYEBA S., DOUMBIA A., 1995 - Essai de stabilisation des systèmes de culture à base d'hévéa en Côte d'Ivoire. In - *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du seminaire 13-17 Nov. 1995 CIRAD Montpellier.* 369-375.
- KYUMA K., TULAPHITAK T. and PAIRINTRA C., 1985 - Changes in soil fertility and tilth under shifting cultivation - I. General description of soil and effect of burning on soil characteristics. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31, 2, 227-238.

- LAL R., 1979 - The role of physical properties in maintaining productivities of soils in the tropics. John Wiley and Sons ed. New York - 3-5.
- LAL R., GREENLAND D. J., 1979 - Soil physical properties and crop production in the tropics. John Wiley and Sons ed. New York. 551p.
- LAL R., SANCHEZ P. A., CUMMINGS R. W., JR, 1986 - Land clearing and development in the tropics. A. A. Balkema Rotterdam. 450p.
- LAVELLE P., BLANCHART E., MARTIN A., SPAIN A. V., and MARTIN S., 1992 - Impact of Soil Fauna on the properties of Soils in the Humid Tropics. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. *Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication n° 29*, 157 - 185.
- LAWRENCE G.P., 1977 - Mesurement of pore sizes in fine-textured soils: a reviem of existing technics. *J. of Soil Sci.*, 28 - 527-540
- LE BORGNE E., MONNIER G., 1959 - Influence du feu sur certaines propriétés du sol. *C. R. Acad. Sci.*, 248 - 1549-1551.
- LEE K. E., WOOD T. G., 1968 - Preliminary srtudies of the role of *Nasutitermes exitiosus* (Hill) in the cycling of organic matter in a yellow podzolic soil under dry sclerophyll forest in south Australia. *Trans. 9 th. Internation. Congr. Soil Sci. (Adélaïde, Australie)*, II, 11-18.
- MAERTENS C., 1964 - Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquence sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. *Sciences du sol* 91, 31-41.
- MAERTENS C, 1964 a - Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. *Sci. Sol*, 2, 1-11.
- MAERTENS C., 1964 b - La résistance mécanique des sols à la pénétration - ses facteurs et son influence sur l'enracinement. *Ann. Agron.*, 15, 539-554.
- MALDAGUE M. E., 1964 - Importance des populations de termites dans les sols équatoriaux. *C. R. 8e Internation. Congr. Soil Sci. (Bucarest, Roumanie)*, III, 24, 743 - 752.
- MALDAGUE M. E., 1970, Cité par BACHELIER G, 1973.
- MANGENOT G., 1955 - Etudes sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire. *Etudes éburnéenes, IFAN, t IV* - 5-61.
- MANICHON, 1982 - L'action des outils sur le sol - appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. *Science du Sol* 3, 203-219.

- MARSILI A., Servadio P., 1996 - Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils. *Soil and Tillage Research* 37 (1996) 37-45.
- MARTEL Y. A. et DESCHENES J. M., 1976 - Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec. *Can. J. Soil Sci.*, 56 - 373-383.
- MARTIN G., 1963 - Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. *Cah. Orstom* 2 - 8-14.
- MASSE J., REMY J. C., MARY B., CROSSON P., 1989 - Fonctionnement racinaire - l'utilisation du marquage isotopique des nitrates. *Perspectives Agricoles - Tiré - à - part des n° 119, 122 et 128, 1989.*
- MATONDO H., MIAMBI E. , MABIALA M. et NGAKA , 1982 - Les déchets urbains de la ville de Brazzaville. Composition et valorisation en cultures maraîchères. *Laboratoire de phytotechnique, Institut de développement rural. Nov. 1982.*
- MEREDITH H. L., PATRICK W.H., 1961 - Effect of soil compaction on sub soil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. *Agr. J.*, 53 - 163-167.
- MITJA D. et VALENTIN C. , 1989 - Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide. *5ème journée hydropédologique de l'ORSTOM à Montpellier, 12 , 13 Sept. 1989, Edition de l'ORSTOM, Collections Etudes et Thèses Paris 1990 P 59 , 69.*
- MONNIER G., 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale du sol. *Sols Afri.*, vol. X, n°1, pp. 5-25.
- MONNIER G., STENGEL P., FIES J.C., 1973 - *Ann. Agr.*, t 24 - p 533.
- MOORE A. W. , 1960 - The influence of annual burning on a soil in the derivaded savana zone of Nigeria. *7th Intern. Congress of Soil Science, Madisson, Wisc., USA, V. 36., pp. 257 , 264.*
- MOREAU R., 1978 - Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Copyright ORSTOM, 1978.*
- MOREAU R., 1978 - Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. XVI, n°4, 413-424.
- MOREAU R., NAMUR Ch. de, 1978 - Le système cultural traditionnel des oubis de la région Tai. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, XIII - 191-196.

- MOREAU R., 1983 - Evolution des sols sous differents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière. Cah. ORSTOM., Sér. Pédol., Vol. XX, n°4 - 311-325.
- MOREAU R., 1984 - Etude sur parcelles comparatives de l'évolution des sols ferrallitiques sous differents modes de mise en culture en zones forestière et préforestière de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol. XXI, n°1, 43-56.
- MOREAU R., GODEFROY J., 1985 - Problèmes des zones tropicales et équatoriales forestières. CR. Acad. Agr. de France n°10, 71, 1169-1179.
- MOREAU R., 1986 - Effects of methods of deforestation and soil management on properties of some soils in Ivory Coast. In - Land clearing and developmentt in the tropics; Edited by R. Lal, P. A. Sanchez, R. W. Cummings, JR. A. A. Balkema. Rotterdam. 247-264.
- MOREAU R., 1993 - Influence de la mise en culture et de la jachère forestière sur l'évolution des sols forestiers tropicaux. In - La jachère en Afrique de l'Ouest. Colloques et seminaires. Editions ORSTOM, Paris - 245-256.
- MOREAU R. et NAGUMO F., 1994 - Le pénétromètre Yamanaka et son utilisation pour l'évaluation des possibilités d'enracinements dans les horizons des sols cultivés. Structure et fertilité des sols tropicaux, Montpellier , 12 et 13 septembre 1994.
- MURPHY, BULLOCK, TURNER, 1977 - The measurement and characterization of voids in thin sections by image analysis. Part 1; Principles and technics. *J. Soil Sci.*, 28.- 498-508.
- MURPHY P. and RILEY J. P., 1962 - A modified single solution method for the détermination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27 - 31 - 36.
- NAGPAL N.K., BOERSMA L., AND DEBACKER, L.W., 1972 - Pore size distribution of soils from mercury intrusion porosimeter data. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 36, 264-7
- NEWMANN E.I., 1966 - *J. Appl. Ecol.*, 3 (1) - p 139.
- N'GUETTIA R. Y., DOFFISSI O-D., BALLO K., FONDIO L., 1995 - Déclin de la pluviosité en Côte d'Ivoire. Impact éventuel sur la production du palmier à huile; *Sechersse*, 6 - 265-271.
- NICOU R., et THIROUIN H., 1968 - Mesure sur la porosité et l'enracinement. *Premiers résultats. IRAT - Sénégal. Doc. 52 p., multigr.*
- NICOULLAUD B., DARTHOUT R., DUVAL O., 1995 - Etude de l'enracinement du blé tendre d'hiver et du maïs dans les sols argilo-limoneux de Petite Beauce. *AFES. Etude et Gestion des Sols*, 2, 3, 183-200.

- NISHITA H. and HAUG R. M. , 1972 - Some physical and chemical characteristics of heated soils. *Soil Science*, 113 (6), 422 , 430 P.
- NYE P. H., GREENLAND D. J., 1960 - The soil under cultivation. Commonwealth Bur. Soils tech. Commun.51. 156p.
- NYE P. H. and GREENLAND D. J. , 1964 - Changes in the soil after clearing Tropical forest. *Plant and Soil* XXI, n° 1 August 1964, 101 , 113.
- NZILA J. D , 1992 - La Pratique de l'Ecobuage dans la vallée du Niari (Congo). Ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide. *Thèse de Doctorat de l'Université Paris XII , Val de Marne*. 26 Mai 1992, Doc ORSTOM Montpellier, 1992, n° 7 , 190 P.
- OADES J. M., 1984 - Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319-337.
- OADES J. M. and WATERS A. G., 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 1991, 29, 815 - 828.
- OLLAGNIER M., LAUZERAL A., OLIVIN J., OCHS R., 1978 - Evolution des sols sous palmeraie après défrichement de la forêt. *Oléagineux*, vol. 33, n°11 - 537-547.
- ORIOLO G. A. and CURVETO N. R. , 1978 - The effect of fire on humic substances. *Plant and Soil* 50, 91 , 98 (1978).
- PASHANASI B., LAVELLE P., ALEGRE J. and CHARPENTIER F., 1996 - Effect of the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on soil chemical characteristics and plant growth in a low-input tropical agrosystem. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 28, N). 6, pp. 801-810, 1996.
- PEDRO L. DE F., 1988 - Effect of soil structure on root growth and function. Ph. D. Cornell University. 212 p.
- PELLERIN, F.M., 1980 - La porosimétrie au mercure appliquée à l'étude géotechnique des sols et des roches. *Bull.Liais.Lab.des Ponts et Chaussées*, 106, 105-116
- PURI A. N. and ASGHAR H. G., 1940 - Physical characteristics of Soil. Effect of Ignition. *Soil Sci.*, 49, 369-378.
- QUENCEZ P., 1987 - Evolution de la pluviosité dans le Sud-Ivoirien. *Culture et forêt* Nov.1987. 9-13.
- QUENCEZ P., 1996 - La culture de palmier à huile en Afrique intertropicale - les conditions du milieu physique. *OCL* vol. 3 n°2 - 116-118.

- RITTER, H.L., and DRAKE, L.C., 1945 - Pore size distribution in porous materials. *Ind. & Eng. Chem., Anal.* 17:782.
- ROOSE E.J., 1983 - Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale. *Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol XX, n° 4*: 327-339
- RUF F., 1995 - De l'économie familiale de plantation à l'économie familiale de la replantation cacao en Côte d'Ivoire et en Indonésie. In - *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du seminaire 13-17 Nov. 1995 CIRAD Montpellier.* 451-463.
- SANCHEZ P.A., 1976 - *Properties and management of Soil in the tropics.* John Wiley and sons New york 618 p.
- SANCHEZ P. A., VILLACHIKA J. H. and BANDY D. E. , 1983 - Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal. Vol 47, n° 6 November , December 1983.*
- SEUBERT C. E., SANCHEZ P. A. and LAVERDE C., 1977 - Effect of land clearing methods on soil properties of an ultisol and crop performance in the Amazon Jungle of Peru. *Trop. Agric. (Trinidad) Vol. 54, n° 4 Oct. 1977.*
- SLAATS J. J. P., 1995 - *Chromolaena odorata* fallow in food cropping systems. An agronomic assessment in south-west Ivory Coast. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen. 177p.
- SMITH D. W., 1970 - Concentration of soil nutrients before and after fire. *Can. J. Soil Sci., 50, 17 , 29 P.*
- SPAIN A. V., LAVELLE P. and MARIOTTI A., 1992 - Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biol. Biochem. Vol. 24, N° 12, pp. 1629 - 1633, 1992.*
- STEFAN S. and GERTRUDE P., 1996 - The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: Indications for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology Vol. 3, No 2, (1996) 115-125.*
- STOOPS E., JONGERIUS A., 1975 - Proposal for a micromorphological classification in soil materials I. A classification of the related distributions of coarse and fine particles. *Geoderma 13 - 189-200.*
- STORK N. E. and EGGLETON P., 1992 - Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American J. Alternative Agriculture, 7, 38-55.*

- STROMGAARD P. , 1984 - The immediate effect of burning and ash fertilization. *Plant and soil*, 80, 307, 320.
- TAMIA A. J., 1992 - Etude morphologique de structures liées à la redistribution du fer et du manganèse en milieu calcaire. *Mémoire de DEA, Université Aix-Marseille*. 28 p.
- TAMIA A. J., 1994 - Identification des principaux types de défrichement effectué en Côte d'Ivoire - leurs conséquences sur l'évolution des paramètres du sol. Rapport technique de recherches préliminaires 1993-1994. Multigr. IDEFOR/DCC. Côte d'Ivoire. 28p.
- TAMIA A. and YORO G., 1994 - Influence of clearing methods and tillage practices on the phenology of maize plants. In Strategies for the Management of Upland Soils of Humid and Subhumid Africa (IBSRAM/AFRICALAND) - Network Document n° 9, 247-254.
- TANO Y. et LEPAGE M., 1989 - Les termites - Dynamique des nids épigés et interactions avec les composantes du milieu. *Journées hydropédologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 12 - 13 Septembre 1989. (5ème Journées hydropédologiques de l'ORSTOM)*. dans Structure et Fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide.
- TARDIEU F. et MANICHON H., 1986 - Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II. Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie* 6, 415-425.
- TARDIEU F. et MANICHON H., 1987 - Etats structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. II. Croissance et disposition spatiale du système racinaire. *Agronomie*, 7(3), 201 - 211.
- TARDIEU F., 1987 - Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs III. Disponibilité des réserves en eau du sol. *Agronomie*, 7 (4) - 1-10.
- TARDIEU F. 1989 - Etat structural de la couche labourée et enracinement. Les Racines - Méthodologie d'étude. Perspectives Agricoles ITCF. tirés à part n°119, 122, et 128, 13 - 16.
- TAYLOR H. M. and RATLIFF L. F., 1969 - Root growth pressure of cotton, peas and peanuts. *Agron. J.*, 61, 398-402.
- TREITZ W., 1991 - Dimension and importance of sustainability in a global context. Technical papers, vol. 2. IBSRAM Proceedings n°12 (2) - 3-24.
- TRI BUI HUU , 1968 - Dynamique de la granulation du sol sous prairie. *Ann. Agron.* 4
- TRI B. U. Et MONNIER G., (1973) - Etude quantitative de la granulation des sols sous prairies de graminées. *Ann. Agron.*, 24 (6) - 651-667.

- TRIGO D. and LAVELLE P., 1993 - Changes in respiration rate and some physicochemical properties of soil during gut transit through *Allolobophora molleri* (Lumbricidae, Oligochaeta). *Biol Fertil Soil* (1993) 15: 185 - 188.
- URIBE H. A., DE CASTRO F. S. et RODRIGUEZ A. G., 1967 - Efectos de la quemada sobre la productividad de los suelos. *Cenafé, Octubre, Diciembre 1967*, 116, 135.
- VALENTIN C., 1981 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique. Dynamique de formation sur l'économie de l'eau. *Thèse 3ème cycle Univ. Paris XII*; 1981.
- VAN REULER H., JANSSEN B. H., 1993 - Nutrient fluxes in the shifting cultivation system of south-west Côte d'Ivoire. I. Dry matter production, nutrient contents and nutrient release after slash and burn for two fallow vegetations. *Plant and soil* 154 - 169-177.
- VAN REULER H., 1996 - Nutrient management over extended cropping periods in the shifting cultivation system of south-west Côte D'Ivoire. Proefschrift Landbouwniversiteit te Wageningen. 289p.
- VEIMEYER J. F. and HENDRICKSON A. M., 1948 - Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 65, 487, 493 (1948).
- VIZIER J.F, TAMIA A.J., FARDOUX J., 1995 - Apport de l'électrodialyse à l'étude de l'influence de l'organisation du sol sur la disponibilité des éléments minéraux dans les sols tropicaux. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 1321, série II a - 1163-1169.
- WASHBURN E.W., 1921 - Note on a method of determining the distribution of pore sizes in a porous material. *Proc.Nat.Acad.Sci.*, 7, 115-6.
- WILSON G. F. and LAL R., 1982 - New concepts for post clearing land management in tropics. International Institute of Tropical Agriculture, P. M. B. 5320, Ibadan, Nigeria. *Conference on land clearing IITA, Ibadan, Nigeria, 1982*.
- YAMANAKA K. et MATUO K., 1962 - A study on soil hardness (first report). Relationship between soil hardness and water content. *Jpn. J. Soil Sci Plant Nutr.*, Vol. 33, n° 7, pp. 343 - 347.
- YORO G., 1979 - Aperçu sur les modifications du milieu naturel sous l'effet des pratiques culturales. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 13p. multigr.
- YORO G., 1982 - Vocation agronomique des sols de Côte d'Ivoire. *Communication au Séminaire sur l'installation des jeunes agriculteurs, Yamoussoukro, 25-27 Nov 1982*

- YORO G., 1989 - Effets du défrichement et de la mise en culture sur les caractères du sol. Exemples en Côte d'Ivoire. *SOLTROP, Colloques et séminaires, Paris* - 473-484.
- YORO G., 1984 - Modification des profils culturaux des sols ferrallitiques sur sables tertiaires après mise en culture traditionnelle et semi motorisée. *ORSTOM Adiopodoumé*.
- YORO G. et ASSA A., 1986 - Modification structurale de deux sols ferrallitiques de la Côte d'Ivoire sous l'effet du piétinement par l'homme. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol. XXII, n) 1, 1986. 31, 41.*
- YORO G., 1990 - Identification de la microvariabilité après défrichement motorisé d'un sol ferrallitique issu de sable tertiaires. Organic-matter management and tillage in humid and subhumid Africa. *IBSRAM Proceedings n°10, 401-414.*
- YORO G. et GODO G., 1990 - Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol xxV, n°4, 1989 - 1990 - 423 - 429*
- YORO G. 1992 - Etat d'avancement des travaux sur le site de Bécédi, en Côte d'Ivoire. Technical Report on Land Development for Sustainable Agriculture in Africa. IBSRAM Neuwork Document n°5.
- YORO G., 1993 - Rapport technique annuel 1993.
- YORO G., TAMIA A., GBONHOURI, 1995 - Technical report on land development for sustainable agriculture in Côte d'Ivoire. Results from Becedi site 1990-1994. IBSRAM-IDEFOT / DCC.
- ZWIENIECKI M. A. and NEWTON M., 1994 - Root distribution of 12 - year - old forests at rocky sites in southwestern Oregon: Effects of rock physical properties. *Canadian Journal of Forest research - Revue Canadienne de Recherche Forestière. 24: 9, 1791-1796.*

ANNEXES

Annexe 1 : Les caractères morphologiques des unités de sol

Profil 1

Surface : couverte à 100% de feuilles et de débris végétaux.

- 0 - 14 cm : 10 YR 3/3. Humide. Matière organique libre et humifiée. Limono-argileux. 65% d'éléments grossiers constitués en majorité de quartz de taille variable (cailloux, graviers). Structure fragmentaire. grumeleuse. Agrégats moyens, faiblement résistants à l'écrasement. Nombreuses cavités et fissures inter et intra-agrégats. Meuble. Poreux. Racines subhorizontales (cm et mm). Transition diffuse.
- 14 - 37 cm : 7.5 YR 5/6. Humide, faiblement humifère. Argilo-limoneux. 75 % d'éléments grossiers composés en majorité de quartz de taille variable. Structure massive - fragmentaire. Débit moyen et fin. Poreux. Meuble. Racines subhorizontales. Transition graduelle.
- 37 - 60 cm : 7.5 YR 5/8. Humide. Argilo-limoneux à argileux. 55 % d'éléments grossiers de quartz de taille réduite et homogène (2 - 10 mm). Structure massive - fragmentaire. Débit polyédrique anguleux. Cavités fauniques. Poreux. Meuble. Racines rares. Transition distincte.
- 60 - 80 cm : Horizon discontinu, gravillonnaire (50 % d'éléments grossiers). 7.5 YR 6/8. Humide. Argileux. Pas de racines.
- 80 - 100 cm : Bariolé : rouge, ocre, jaune, orange. Argileux. 35 % d'éléments grossiers. Matériaux altéritiques plus ou moins indurés. massifs. Poreux. Pas de racines.

profil 2 : mêmes caractéristiques morphologiques que la fosse 1. La différence apparaît à partir de 50 cm de profondeur où on notes les matériaux bariolés qui sont des reliques de schistes.

Les caractéristiques des deux unités pédologiques se distinguent donc par la profondeur d'apparition des éléments grossiers, la texture, les taches d'hydromorphie en profondeur, la profondeurs d'apparition des altérites et par la couleur des horizons minéraux non humifères. Elles est en effet de 10 YR dans les sols à recouvrement et de 7.5 YR dans les sols gravillonnaires dès la surface. Dans les deux unités pédologiques, le taux ou le volume de racines diminue rapidement de la surface vers la profondeur.

Profil 3

Surface : couverte à 100% de débris végétaux et de feuilles.

- 0 - 10 cm : 10 YR 3/2. Humide. Débris végétaux en décomposition. Matière organique humifiée. Texture limono-sableuse à sables fins (<1mm), moyennement résistant à l'écrasement entre les doigts. Nombreuses cavités intra et interagrégats. Poreux. Meuble. Très nombreuses racines subhorizontales de taille variable. Transition distincte.
- 10 - 20 cm : 10 YR 3/3. Humide. Matière organique non directement décelable. Texture limono-sableuse à limono-argileuse. Structure à tendance massive. Débit polyédrique moyennement résistant à l'écrasement. Cavités fauniques (termites, fourmis). Poreux. Meuble. Nombreuses racines subhorizontales.
- 20 - 40 cm : 10 YR 5/6. Humide. Texture argilo-limoneuse. Quelques éléments grossiers (<10%) essentiellement du quartz inégalement répartis. Structure massive. Débit polyédrique subanguleux. Cavités fauniques (termites). Poreux. Meuble. Quelques racines moyennes et fines, subverticales. Transition nette.
- 40 - 70 cm : 10 YR 5/8 : Quelques taches ocres jaunes, diffuses. Humide. Argilo-limoneux à argileux. 75% d'éléments grossiers composés en majorité de quartz. Structure massive fragmentaire. Eléments structuraux polyédriques anguleux, résistants à l'écrasement. Cavité interstitielles. Peu poreux. Meuble. Rares racines moyennes subhorizontales. Transition distincte.
- 70 - 108 cm : 10 YR 6/6 ou 6/8 : Comporte des taches ocres, rouille, jaunes, oranges. Humide. argileux. 65% d'éléments grossiers, concentrés dans la partie supérieure. A la base, matériau bariolé plus ou moins induré. Pas de racines.

Annexe II.1.1 : Valeurs moyennes de résistance à la pénétration en fonction de la profondeur

Profondeur (cm)	TS	SS	MS	TL	SL	ML	Moyennes
5	1,80 a <i>0,26</i>	1,83 a <i>0,31</i>	1,94 a <i>0,38</i>	1,50 a <i>0,34</i>	1,48 a <i>0,31</i>	1,26 a <i>0,28</i>	1,63 a <i>0,13</i>
10	4,08 ab <i>0,89</i>	4,62 ab <i>0,8</i>	4,69 ab <i>0,75</i>	2,83 ab <i>0,57</i>	3,26 ab <i>0,75</i>	3,29 ab <i>0,73</i>	3,80 b <i>0,31</i>
15	5,09 ab <i>1,25</i>	7,59 bc <i>1,34</i>	7,38 b <i>1,02</i>	4,52 bc <i>0,14</i>	4,23 b <i>0,59</i>	4,85 bc <i>1,08</i>	5,61 c <i>0,46</i>
20	7,20 b <i>1,78</i>	10,93 c <i>1,71</i>	10,95 c <i>1,65</i>	6,39 c <i>0,11</i>	6,41 c <i>1,13</i>	6,44 c <i>1,39</i>	8,06 d <i>0,64</i>

Annexe II.1.2 : Composantes de stabilité structurale (fin de campagne 1991)

Parcelles	AgA	AgE	AgB	Moy Ag	SGB	AgB - SGB	A+Lmax	IS
TS1	49,60	39,16	35,06	41,27	20,20	14,86	13,59	0,59
TS2	40,92	35,77	33,76	36,82	23,69	10,07	10,31	0,67
TS3	38,13	26,00	23,42	29,18	18,05	5,37	17,93	1,39
TL1	53,29	39,23	36,34	42,95	17,65	18,69	13,88	0,51
TL2	38,96	31,64	29,70	33,43	17,34	12,36	11,18	0,63
TL3	37,20	27,06	25,19	29,82	20,27	4,92	15,86	1,37
SS1	47,5	33,25	28,64	35,46	18,29	10,35	17,54	0,88
SS2	39,17	31,79	30,59	33,85	19,59	11,00	12,92	0,8
SS3	39,96	33,01	29,71	34,23	18,73	10,98	13,79	0,79
SL1	47,69	36,98	35,32	40,00	19,61	15,71	13,69	0,61
SL2	38,98	30,29	28,85	32,71	24,06	4,79	15,33	1,39
SL3	35,41	26,97	24,81	29,06	17,46	7,35	21,45	1,61
MS1	41,48	29,09	26,01	32,19	16,95	9,06	17,98	1,06
MS2	41,24	31,44	29,67	34,12	20,74	8,93	15,91	1,03
MS3	49,33	35,23	28,12	37,56	17,26	10,86	21,35	0,97
ML1	41,02	35,65	34,49	37,05	21,65	12,84	13,01	0,74
ML2	44,36	36,91	34,07	38,45	17,29	16,78	13,59	0,59
ML3	41,07	26,09	21,99	29,72	16,27	5,72	25,26	1,68

Annexe II.1.3 : Composantes de stabilité structurale (fin de campagne 1993)

Parcelles	AgA	AgE	AgB	Moy Ag	SGB	AgB - SGB	A+Lmax	IS
TS1	47,75	33,15	29,49	36,8	19,63	9,86	16	0,84
TS2	37,18	29,8	25,84	30,94	18,73	7,11	14,89	1,06
TS3	41,18	27,39	23,39	30,65	18,01	5,38	18,36	1,27
TL1	51,79	32	28,1	37,3	18,41	9,69	19,28	0,93
TL2	38,71	26,61	24,06	29,79	17,25	6,81	18,7	1,31
TL3	37,73	27,97	26,01	30,57	19,05	6,96	12,72	0,95
SS1	49,51	26,77	21,25	32,51	16,39	4,86	25,02	1,41
SS2	36,11	26,79	25,01	29,3	20,12	4,89	21,83	1,95
SS3	46,32	27,37	24,18	32,62	17,94	6,24	21,64	1,31
SL1	46,25	26,9	23,06	32,07	19,38	3,68	25,93	1,77
SL2	36,83	29,67	27,69	31,4	22,79	4,9	17,45	1,6
SL3	37,2	25,07	22,52	28,26	19,05	3,47	25,55	2,3
MS1	44,72	23,91	19,6	29,41	15,18	4,42	21,69	1,38
MS2	41,83	25,52	24,15	30,5	20,17	3,98	21,4	1,73
MS3	48,94	26,43	20,53	31,97	16,24	4,29	29,31	1,69
ML1	40,37	31,57	28,96	33,63	16,16	12,8	16,92	0,89
ML2	37,47	26,42	25,15	29,68	21,06	4,09	23,81	2,22
ML3	36,98	24,39	21,3	27,56	18,88	2,42	30,9	2,92

Annexe II.1.4 : Résultats d'analyses granulométriques des différentes parcelles après les défrichements.

Parcelles	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier	
	Valeurs brutes						Valeurs corrigées				
T1	17,13	10,37	3,23	25,27	13,67	24,59	14,88	4,64	36,27	19,62	
T2	17,50	5,00	2,53	34,13	12,47	24,43	6,98	3,53	47,65	17,41	
T3	19,00	3,12	3,41	31,63	12,31	27,35	4,49	4,91	45,53	17,72	
Moyennes	17,88	6,16	3,06	30,34	12,82	25,46	8,79	4,36	43,15	18,25	
	0,99	3,76	0,46	4,37	0,74	1,64	5,43	0,73	6,03	1,20	
S1	20,67	6,70	1,32	30,10	13,98	28,40	9,21	1,81	41,36	19,21	
S2	17,13	5,63	2,62	33,41	14,99	23,22	7,63	3,55	45,28	20,32	
S3	17,63	5,87	0,89	37,81	11,89	23,80	7,92	1,20	51,03	16,05	
Moyennes	18,48	6,07	1,61	33,77	13,62	25,14	8,25	2,19	45,89	18,53	
	1,92	0,36	0,90	3,87	1,38	2,84	0,84	1,22	4,86	2,22	
M1	15,63	6,62	3,65	30,47	15,83	21,65	9,17	5,06	42,20	21,93	
M2	22,83	8,12	4,82	34,56	8,20	29,07	10,34	6,14	44,01	10,44	
M3	21,75	6,05	1,95	27,44	15,78	29,81	8,29	2,67	37,60	21,63	
Moyennes	20,07	6,93	3,47	30,82	13,27	26,84	9,27	4,62	41,27	18,00	
	3,88	1,07	1,44	3,57	4,39	4,51	1,03	1,77	3,30	6,53	

Les écart-types sont en italique

Annexe II.1.4' : Caractéristiques chimiques des parcelles immédiatement après les défrichements

Parcelles	pH eau	pH KCl	C (mg/g)	N (mg/g)	C/N	Ca	Mg	K (méq/100)	SBE	CEC	TS (%)	P.as (ppm)
Forêt initiale	4,70	4,00	16,65	1,46	11,26	1,23	0,62	0,10	1,97	7,14	26,44	0,02
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>8,81</i>	<i>0,71</i>	<i>0,58</i>	<i>0,81</i>	<i>0,31</i>	<i>0,04</i>	<i>1,16</i>	<i>2,74</i>	<i>6,11</i>	<i>0,00</i>
T1	5,40	4,50	28,80	1,92	14,98	3,99	2,37	0,64	7,01	9,50	73,79	15,00
T2	5,40	4,60	22,20	1,79	12,37	3,92	2,44	0,56	6,94	8,90	77,98	17,00
T3	5,20	4,40	19,00	1,74	10,91	3,14	1,66	0,26	5,09	6,40	79,53	17,00
Moyennes	5,33	4,50	23,33	1,82	12,75	3,68	2,16	0,49	6,35	8,27	77,10	16,33
	<i>0,12</i>	<i>0,10</i>	<i>5,00</i>	<i>0,09</i>	<i>2,06</i>	<i>0,47</i>	<i>0,43</i>	<i>0,20</i>	<i>1,09</i>	<i>1,64</i>	<i>2,97</i>	<i>1,13</i>
S1	4,50	3,70	18,20	2,26	8,05	1,55	1,18	0,18	2,92	4,70	62,13	19,00
S2	4,30	3,80	18,20	1,54	11,86	0,44	0,24	0,12	0,82	2,35	34,89	24,00
S3	4,40	3,70	15,00	1,51	9,94	1,40	0,71	0,11	2,23	4,00	55,75	71,00
Moyennes	4,40	3,73	17,13	1,77	9,95	1,13	0,71	0,14	1,99	3,68	50,92	38,00
	<i>0,10</i>	<i>0,06</i>	<i>1,85</i>	<i>0,42</i>	<i>1,91</i>	<i>0,60</i>	<i>0,47</i>	<i>0,04</i>	<i>1,07</i>	<i>1,21</i>	<i>14,25</i>	<i>28,69</i>
M1	5,00	4,50	22,40	1,90	11,81	1,78	0,45	0,13	2,37	4,50	52,67	59,00
M2	4,30	3,70	20,60	1,82	11,32	2,05	1,17	0,29	3,53	5,50	64,18	41,00
M3	4,60	4,10	9,20	1,43	6,43	1,49	0,77	0,16	2,44	6,85	35,62	19,00
Moyennes	4,63	4,10	17,40	1,72	9,85	1,77	0,80	0,19	2,78	5,62	50,82	39,67
	<i>0,35</i>	<i>0,40</i>	<i>7,16</i>	<i>0,25</i>	<i>2,97</i>	<i>0,28</i>	<i>0,36</i>	<i>0,09</i>	<i>0,63</i>	<i>1,18</i>	<i>14,37</i>	<i>20,03</i>

Les écart-types sont en italique

Annexe II.1.5 : Composantes de rendement du maïs de 1991 à 1994

1993	T31	T32	SM31	SM32	M21	M22	M31	M32	SM22
% levée	67,30	79,15	65,77	50,69	67,08	56,23	71,00	11,46	47,31
Pds myon grain/épi (g)	83,30	90,80	62,50	110,28	78,62	126,87	76,66	67,81	137,80
Rdt grain/parcelle (kg)	60,55	70,28	48,27	98,88	56,97	84,37	55,83	51,42	83,50
Rdt grain à l'ha (t/ha) sec	52,97	72,31	41,27	65,16	49,68	61,67	51,53	7,66	51,35
Pds moyen des tiges et spathes (g)	2,54	3,47	1,98	3,13	2,38	2,96	2,47	0,37	2,46
Rdt biomasse sèche (t/ha)	102,43	119,53	61,63	108,42	97,82	133,99	94,26	66,81	188,57
Biomasse fraîche (t/ha)	66,80	64,50	50,00	93,42	73,05	68,42	68,12	48,92	80,95
Rdt biomasse sèche (t/ha)	2,80	3,18	2,05	2,96	3,06	2,40	3,02	0,35	2,39
Biomasse fraîche (t/ha)	43,08	5,90	2,50	3,43	4,10	4,70	4,18	0,47	5,56
Rdt grain frais	3,50	4,48	2,57	3,49	3,29	4,45	3,40	0,48	4,06

1993	T11	T12	SM11	SM12	M11	M12	T21	T22	SM21
% levée	68,77	74,23	70,54	58,61	68,69	30,46	75,54	65,61	72,23
Pds moyen grain/épi	94,52	97,57	95,81	105,58	93,38	108,78	52,05	66,90	60,84
Rdt grain/parcelle (kg)	58,87	62,57	59,05	75,29	57,93	88,67	44,01	58,57	48,25
Rdt grain à l'ha (t/ha) sec	52,63	60,38	54,15	57,36	51,72	35,11	43,33	49,95	45,31
Pds moyen des tiges et spathes (g)	2,53	2,90	2,60	2,76	2,48	1,68	2,08	2,40	2,18
Rdt biomasse sèche (t/ha)	147,50	150,40	144,75	122,65	142,23	122,44	64,14	78,45	49,74
Biomasse fraîche (t/ha)	63,33	70,79	68,62	61,76	69,61	110,80	45,34	54,65	42,05
Rdt biomasse sèche (t/ha)	2,72	3,28	3,02	2,26	2,98	2,11	2,13	2,24	1,90
Biomasse fraîche (t/ha)	6,34	6,97	6,37	5,59	6,10	2,33	3,82	3,21	2,25
Rdt grain frais	4,04	4,52	4,22	3,87	4,00	2,07	2,45	2,74	2,75

Valeurs à l'état frais

1992	T11	T12	SM11	SM12	M11	M12	T21	T22	SM21
Densité de semis	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
% levé	33,38	45,92	50,76	11,92	60,23	45,76	43,61	49,69	58,15
Pds moyen grain par épi (g)	53,40	56,20	89,50	17,04	76,50	95,24	30,45	86,23	41,20
Rdt grain par parcelle (kg)	23,20	33,55	59,06	2,64	59,90	56,65	17,26	55,70	31,14
Rdt grain à l'hectare (T/ha)	1,58	1,68	2,95	0,13	2,99	2,83	1,28	2,78	1,56
Pds moyen des tiges et spathes (g)	79,38	88,20	102,52	105,80	91,52	111,07	73,80	118,05	75,63
Rdt biomasse sèche (T/ha)	1,72	2,63	3,38	0,82	3,58	3,30	2,09	3,91	2,86
nombre d'épis									
nombre de tiges									

1992	T31	T32	SM31	SM32	M31	M32	SM22	M21	M22
Densité de semis	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
% levé	42,84	50,84	40,84	15,46	20,15	2,30	27,30	33,46	38,84
Pds moyen grain par épi (g)	44,11	78,11	57,68	24,50	15,31	9,54	13,14	91,60	68,05
Rdt grain par parcelle (kg)	24,56	51,62	30,62	9,18	9,56	2,26	8,24	39,84	34,36
Rdt grain à l'hectare (T/ha)	1,23	2,58	1,53	0,46	0,48	0,11	0,41	1,99	1,72
Pds moyen des tiges et spathes (g)	68,98	130,40	91,07	82,85	84,53	105,86	67,88	120,16	125,53
Rdt biomasse sèche (T/ha)	1,92	4,31	2,42	1,55	2,64	1,25	2,13	2,61	3,17

ts : c'est ce taux qui doit intervenir dans le calcul des rendements

1991	M21	M22	T31	T32	SM31	SM32	M31	M32	SM22
Densité de semis	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729
% de levé	72,25	61,80	62,00	74,50	65,26	79,47	71,21	76,24	62,20
Poids moyen de grains par épi (g)	62,97	78,39	82,08	80,32	81,99	78,91	79,72	75,14	59,91
Rendement grains par parcelle (kg)	78,66	83,76	87,98	103,46	92,51	108,42	98,15	99,04	64,42
Rendement grains à l'hectare (T/ha)	3,93	4,18	4,39	5,17	4,62	5,42	4,90	4,95	3,22
Poids moyen des tiges et spathes (g)	70,19	73,28	53,29	67,27	75,96	65,09	66,25	73,97	69,27
Rendement biomasses sèche (T/ha)	4,38	3,91	2,85	4,33	4,28	4,47	4,07	4,87	3,72

1991	T11	T12	SM11	SM12	M11	M12	T21	T22	SM21
Densité de semis	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729	1729
% de levé	59,00	49,00	75,70	83,10	74,62	81,44	66,68	55,81	71,50
Poids moyen de grains par épi (g)	79,39	78,77	73,92	69,81	83,57	75,45	71,24	81,88	81,67
Rendement grains par parcelle (kg)	80,98	66,73	96,75	100,30	107,82	106,24	82,13	79,01	100,96
Rendement grains à l'hectare (T/ha)	4,05	3,33	4,83	5,01	5,39	5,31	4,10	3,95	5,04
Poids moyen des tiges et spathes (g)	69,58	61,91	56,19	62,83	69,11	74,89	57,25	69,86	61,11
Rendement biomasses sèche (T/ha)	3,54	2,62	3,67	4,51	4,45	5,27	3,30	3,37	3,77

1994	T11	T12	SM11	SM12	M11	M12	T21	T22	SM21
% levée	64,61	81,00	69,61	77,46	70,61	73,92	69,61	78,54	76,92
Pds moyen grain/épi	45,92	94,49	50,13	87,29	53,58	79,65	87,81	88,16	70,58
Rdt grain par parcelle (kg)	64,85	136,48	73,18	96,21	67,09	161,59	119,10	114,40	96,27
Rdt grain sec à l'ha (t/ha)	38,56	99,50	45,36	87,90	49,18	79,54	79,46	90,01	70,58
Rdt grain frais à l'ha (t/ha)	1,93	4,98	2,27	4,40	2,46	3,83	3,97	4,50	3,53
Pds moyen des tiges et spathes (g)	2,81	7,19	3,31	4,84	3,08	7,76	5,39	5,84	4,81
Rdt biomasse sèche (t/ha)	52,60	58,73	63,29	64,27	58,92	78,31	60,68	83,71	75,02
Biomasse fraîche (t/ha)	106,15	153,04	88,62	110,96	93,88	168,36	129,96	127,32	123,16
Rdt biomasse fraîche	2,21	3,09	2,95	3,24	2,70	3,76	2,75	4,27	3,75
	4,46	8,06	4,01	5,59	4,31	8,09	5,88	6,50	6,16

1994	T31	T32	SM31	SM32	M21	M22	M31	M32	SM22
% levée	72,77	87,54	69,77	79,46	81,15	85,15	79,38	69,61	77,30
Pds moyen grain/épi	80,28	87,80	45,01	73,84	60,47	78,48	55,02	72,53	86,68
Rdt grain par parcelle (kg)	122,34	104,97	71,59	104,82	94,98	104,67	105,08	93,82	118,35
Rdt grain sec à l'ha (t/ha)	75,95	99,92	40,82	76,28	63,79	86,87	56,78	65,63	87,12
Rdt grain frais à l'ha (t/ha)	3,80	5,00	2,04	3,81	3,19	4,34	2,84	3,28	4,36
Pds moyen des tiges et spathes (g)	5,79	5,97	3,25	8,41	4,80	5,82	5,42	4,25	5,95
Rdt biomasse sèche (t/ha)	75,81	85,67	64,84	67,41	96,41	66,81	72,03	78,65	65,40
Biomasse fraîche (t/ha)	128,69	126,75	123,84	102,92	114,40	128,54	177,75	119,27	112,65
Rdt biomasse fraîche	3,59	4,87	2,94	3,48	5,09	3,72	3,72	3,56	3,29
	6,09	7,23	5,62	5,32	6,03	7,12	6,08	5,40	5,66

Valeurs à l'état frais

Annexe IL1.6 : Distribution des racines (g/100g de sol) du maïs de 1991 à 1994

Traitements	Profondeurs (cm)	Nbre de répétition			Moyennes	Représentativité
		1,00	2,00	3,00		
TS	0-10	0,18	0,30	0,29	0,26	71%
	10 - 20	0,05	0,05	0,06	0,05	14%
	20-30	0,02	0,05	0,10	0,06	15%
TL	0-10	0,22	0,32	0,18	0,24	56%
	10 - 20	0,03	0,25	0,14	0,14	32%
	20-30	0,01	0,12	0,02	0,05	12%
SS	0-10	0,10	0,09	0,16	0,12	80%
	10 - 20	0,03	0,02	0,05	0,03	17%
	20-30	0,01	0,00	0,01	0,00	2%
SL	0-10	0,09	0,05	0,10	0,08	75%
	10 - 20	0,00	0,02	0,01	0,01	9%
	20-30	0,01	0,02	0,03	0,02	15%
MS	0-10	0,04	0,20	0,19	0,14	45%
	10 - 20	0,03	0,14	0,23	0,13	41%
	20-30	0,01	0,02	0,11	0,05	14%
ML	0-10	0,06	0,18	0,20	0,15	71%
	10 - 20	0,01	0,04	0,05	0,03	15%
	20-30	0,02	0,02	0,05	0,03	14%

Distribution des racines (g/100g de sol) du maïs en 1993

Traitements	Profondeurs (cm)	Nbre de répétition			Moyennes	Représentativité (%)
		1,00	2,00	3,00		
TS	0-10	0,26	0,14	0,34	0,24	80
	10 - 20	0,06	0,03	0,02	0,04	12
	20-30	0,04	0,02	0,02	0,03	9
TL	0-10	0,22	0,35	0,21	0,26	67
	10 - 20	0,08	0,07	0,07	0,07	19
	20-30	0,06	0,07	0,03	0,05	13
SS	0-10	0,19	0,24	0,10	0,18	75
	10 - 20	0,04	0,06	0,02	0,04	16
	20-30	0,03	0,02	0,02	0,02	9
SL	0-10	0,41	0,27	1,05	0,58	80
	10 - 20	0,15	0,05	0,10	0,10	9
	20-30	0,09	0,03	0,03	0,05	5
MS	0-10	0,66	0,21	0,12	0,33	86
	10 - 20	0,06	0,03	0,01	0,04	9
	20-30	0,03	0,04	0,00	0,02	5
ML	0-10	0,38	0,40	0,53	0,43	81
	10 - 20	0,07	0,03	0,09	0,06	12
	20-30	0,03	0,04	0,05	0,04	8

Distribution des racines (g/100g de sol) du maïs en 1992

	Profondeurs (cm)	Nbre de répétition			Moyennes	Représentativité
		1,00	2,00	3,00		
TS	0-10	0,20	0,31	0,30	0,27	82%
	10 - 20	0,03	0,06	0,04	0,04	13%
	20-30	0,01	0,01	0,03	0,02	5%
TL	0-10	0,63	0,57	0,66	0,62	86%
	10 - 20	0,09	0,08	0,05	0,07	10%
	20-30	0,01	0,04	0,02	0,02	3%
SS	0-10	0,32	0,34	0,56	0,41	84%
	10 - 20	0,06	0,05	0,09	0,07	14%
	20-30	0,01	0,00	0,02	0,01	2%
SL	0-10	0,30	0,35	0,20	0,28	73%
	10 - 20	0,07	0,07	0,07	0,07	18%
	20-30	0,03	0,05	0,03	0,04	9%
MS	0-10	0,52	0,39	0,31	0,41	83%
	10 - 20	0,07	0,07	0,03	0,06	12%
	20-30	0,02	0,03	0,02	0,02	5%
ML	0-10	0,44	0,41	0,33	0,39	81%
	10 - 20	0,09	0,05	0,03	0,06	12%
	20-30	0,04	0,02	0,03	0,03	7%

Distribution des racines (g/100g de sol) du maïs en 1994

Traitements	Profondeurs (cm)	Nbre de répétition			Moyennes
		1,00	2,00	3,00	
TS	0-10	0,26	0,09	0,34	0,23
	10 - 20	0,03	0,01	0,02	0,02
	20-30	0,02	0,03	0,01	0,02
TL	0-10	0,12	0,35	0,21	0,22
	10 - 20	0,08	0,07	0,07	0,07
	20-30	0,06	0,08	0,03	0,05
SS	0-10	0,19	0,24	0,10	0,18
	10 - 20	0,04	0,06	0,02	0,04
	20-30	0,01	0,02	0,02	0,02
SL	0-10	0,41	0,27	1,05	0,58
	10 - 20	0,15	0,05	0,10	0,10
	20-30	0,09	0,03	0,03	0,05
MS	0-10	0,66	0,21	0,12	0,33
	10 - 20	0,06	0,01	0,02	0,03
	20-30	0,01	0,02	0,00	0,01
ML	0-10	0,38	0,40	0,53	0,43
	10 - 20	0,07	0,03	0,09	0,06
	20-30	0,03	0,04	0,05	0,04

Annexe II.1.7 Tableau des densités moyennes (caractère gras) et écartype (en petite taille) de macroinvertébrés (ind./m2) selon la profondeur

Parcelles	Profondeurs en (cm)	Vers de terre	Termites	Fourmis	Coléoptères	Myriapodes	Arachnides	Diptères	Ambloptères	Orthoptères	Blates	Diploures	Mollusques	Isopodes
F	0 - 5	318,47	382,17	38,22	63,69	114,65	114,65	63,69	63,69	50,96	50,96	114,65	63,69	25,48
		18,02	33,66	7,56	21,27	2,69	8,88	4,38	4,38	2,12	2,25	2,12	4,38	2,12
	5 - 10	114,65	101,91	76,43	38,22	50,96	25,48	25,48	25,48	25,48	25,48	12,74	38,22	12,74
		14,71	139,74	9,04	2,69	2,12	2,25	4,38	2,12	2,25	2,12	4,38	2,12	2,25
	10 - 20	63,69	132,40	50,96	0,00	12,74	0,00	12,74	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		6,37	50,29	19,11	0,00	4,38	0,00	2,25	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	38,25	237,04	12,92	0,00	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		9,01	45,39	31,85	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0 - 5	6,37	159,24	337,58	82,80	89,17	12,74	6,37	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00
		2,25	50,78	29,02	7,19	11,81	4,38	2,12	2,25	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	57,33	140,13	420,38	31,85	44,59	12,74	0,00	0,00	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00
		3,30	26,61	62,54	4,96	9,04	2,69	0,00	0,00	0,00	2,01	0,00	0,00	0,00
TS	10 - 20	12,74	63,70	420,38	25,48	38,22	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		5,70	8,88	68,85	4,50	4,25	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	6,37	12,74	63,69	0,00	19,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		3,68	3,68	24,76	0,00	16,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0 - 5	6,37	159,24	114,65	44,59	63,69	31,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		7,70	63,07	33,66	7,56	21,27	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	31,85	2178,35	191,09	38,22	101,91	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		10,85	14,11	57,41	4,74	7,15	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 - 20	50,96	121,02	254,78	19,11	38,22	6,37	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		4,50	9,01	9,01	6,37	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	6,37	12,74	12,74	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		3,68	33,19	12,65	2,60	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SS	0 - 5	57,33	184,72	216,56	38,22	76,43	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		13,19	36,25	28,44	6,37	18,45	4,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	25,48	235,67	127,39	6,37	25,48	6,37	0,00	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00
		8,58	44,02	13,17	2,12	8,58	2,12	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 - 20	0,00	133,76	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	6,10	67,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	31,85	0,00	0,00	0,00	0,00	6,37	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0 - 5	44,59	515,89	57,33	19,11	12,74	25,48	63,69	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	106,90	44,04	7,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	6,37	375,80	89,17	19,11	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	9,01	6,37	0,00	6,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SL	10 - 20	0,00	31,85	70,07	6,37	0,00	0,00	0,00	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	26,32	10,06	3,28	8,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	0,00	25,48	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	44,57	9,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0 - 5	31,85	293,00	76,43	19,11	19,11	31,85	0,00	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00
		9,76	109,00	79,19	3,30	4,50	5,55	0,00	2,25	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	38,22	229,30	477,76	6,37	12,74	19,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		1,84	9,29	34,30	3,96	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 - 20	38,22	25,48	242,04	6,37	19,11	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		6,37	3,49	9,01	0,00	0,00	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	0,00	0,00	25,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	24,92	0,00	9,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MS	0 - 5	25,48	375,80	89,18	50,96	12,74	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2,60	30,26	22,09	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	6,37	108,28	70,07	31,85	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		4,50	7,35	8,18	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 - 20	6,37	0,00	12,74	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	6,37	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	0,00	19,11	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	9,01	2,60	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ML	0 - 5	25,48	375,80	89,18	50,96	12,74	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2,60	30,26	22,09	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5 - 10	6,37	108,28	70,07	31,85	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		4,50	7,35	8,18	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10 - 20	6,37	0,00	12,74	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	6,37	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 - 30	0,00	19,11	6,37	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	9,01	2,60	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Annexe II.2.2 : Evaluation des types de microreliefs sur les parcelles semi-mécanisées (S) et les parcelles mécanisées

Microreliefs	Parcelles semi-mécanisées (S)																		Parcelles mécanisées								
	S1			S2			S3			M1			M2			M3											
	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%	carrés	surface (m ²)	%
A	159	102	51	85	54	27	113	72	36	65	42	21	106	68	34	85	54	27									
Am	16	10	5	39	25	12	32	20	10	17	11	5	14	9	4	9	5	2									
At	77	49	25	79	50	25	76	48	24	89	57	28	81	52	26	88	56	28									
Atg	11	7	3	58	37	19	44	28	14	48	31	15	68	44	22	22	14	7									
Total A	262	168	84	260	166	83	264	172	84	218	140	70	268	172	86	203	129	65									
AB	23	15	7	8	5	3	14	9	6	18	12	6	18	11	6	18	11	6									
ABg	13	8	4	34	21	11	4	3	1	50	32	16	13	8	4	10	6	3									
ABt	10	6	3	0	0	0	10	6	3	7	4	2	3	2	1	56	36	18									
ABtg	5	3	2	3	2	1	13	8	4	9	6	3	9	6	3	9	6	3									
ABm	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	0	0	0	0	0	2	1	1									
Total AB	51	32	16	44	28	14	43	28	15	85	54	27	43	27	14	94	60	30									
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	3									
Bt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	2	1									
Btg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1									
BD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	3	0	0	0	2	1	0									
Bg	0	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
Total B	0	0	0	4	3	1	0	0	0	10	6	3	2	1	1	16	10	5									
Excavations	0	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
Surface totale affectée par le bulldozer	102	65	33			45	161	103	45	152	97	49	163	104	52	179	115	57									

A: microrelief constitué d'horizon A. Il est humifère, riche en débris végétaux et de couleur homogène. AB: microrelief issu du mélange d'horizon B. Il est de couleur hétérogène. B: microrelief formé d'horizon minimal B. BD: Surfaces découpées ou lissées par la lame du bulldozer. Elle est de couleur homogène et très peu humifère.

m: microrelief restant ou présentant sous forme de butte ou de billon. l: microrelief portant les traces des chenilles du bulldozer. g: microrelief gravillonneux.

Annexe II.2.3 : Quelques caractéristiques analytiques des volumes pédologiques identifiés immédiatement après défrichement semi-mécanisé et mécanisé en avril 1991

volumes pédologiques	A+LF (%)	C (mg/g)	N (mg/g)	C/N	S (mé/100g)	CEC (mé/100g)	V (%)	pH
S1A	27,40	28,20	2,11	13,36	4,60	6,80	67,65	4,80
S2A	21,85	27,60	2,31	11,95	4,06	7,50	54,13	4,50
S3A	24,38	25,20	2,05	12,29	4,43	7,30	60,68	4,60
Moyennes	24,54	27,00	2,16	12,50	4,36	7,20	60,82	4,63
	2,74	1,39	0,14	0,14	0,24	0,14	4,78	0,11
S1AB	30,88	13,00	1,25	10,40	1,80	3,50	52,00	4,45
S2AB	28,10	17,80	1,56	11,41	4,16	5,40	77,04	4,90
S3AB	30,55	13,20	1,28	10,31	3,29	5,60	58,75	4,50
Moyennes	29,84	14,67	1,36	10,79	3,09	4,83	62,60	4,62
	1,52	2,72	0,17	0,61	1,19	1,16	12,96	0,25
M1A	22,42	30,20	3,06	9,87	5,60	7,50	74,67	5,40
M2A	27,62	25,60	2,00	12,80	2,66	6,40	41,56	4,30
M3A	26,25	25,80	2,34	11,03	5,28	7,80	67,69	4,40
Moyennes	25,43	27,20	2,47	11,01	4,51	7,23	61,31	4,70
	1,70	1,40	0,14	1,14	1,41	0,74	17,43	0,41
M1AB	25,25	15,20	1,48	10,27	4,21	6,90	61,01	4,70
M2AB	31,75	15,40	1,56	9,87	3,97	7,68	51,69	4,40
M3AB	31,82	16,20	1,28	12,66	3,80	6,40	59,37	4,50
Moyennes	29,61	15,60	1,44	10,83	4,00	7,00	57,36	4,53
	1,77	0,37	0,14	1,37	0,37	0,41	4,94	0,13
M2B	34,75	13,60	1,46	9,32	4,24	7,54	56,23	4,40

V: Taux de volume

Les écarts types sont en italique

Annexe II.2.4 : Caractéristiques analytiques des types de surface après quatre années de mise en culture

	pH			C	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	SBE	CEC	TS	P. as
	Eau	Kcl	Cobalt	mg/g						Cmolc/Kg						%	PPM
T1	4,9	4,2	4,3	20,8	1,5	13,5	2,6	0,8	0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	3,6	3,6	99,0	59,1
T2	5,0	4,2	4,4	24,9	1,5	18,6	3,2	0,8	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	4,2	4,4	93,5	64,7
Moyennes	4,9	4,2	4,3	22,8	1,5	16,0	2,9	0,8	0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	3,9	4,0	96,3	61,9
	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>2,9</i>	<i>0,0</i>	<i>3,6</i>	<i>0,4</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,4</i>	<i>0,6</i>	<i>3,9</i>	<i>3,9</i>
SA	4,4	3,9	4,0	18,9	1,5	12,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	2,1	3,0	68,8	41,6
SA	4,8	4,0	4,1	22,6	1,5	15,3	1,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,4	0,2	2,5	3,1	82,6	65,6
Moyennes	4,6	3,9	4,0	20,8	1,5	13,8	1,1	0,3	0,1	0,0	0,4	0,3	0,2	2,3	3,0	75,7	53,6
	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>2,6</i>	<i>0,0</i>	<i>2,1</i>	<i>1,0</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,5</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>	<i>9,8</i>	<i>16,9</i>
SB	4,4	3,8	4,0	13,4	1,0	13,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,6	0,2	0,2	1,3	2,1	61,1	45,4
SB	4,5	3,9	4,1	14,6	1,2	11,8	1,7	0,5	0,2	0,0	0,0	0,4	0,2	2,3	2,8	82,9	65,2
Moyennes	4,5	3,8	4,0	14,0	1,1	12,7	0,9	0,3	0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	1,8	2,4	72,0	55,3
	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,8</i>	<i>0,2</i>	<i>1,2</i>	<i>1,1</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,4</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>	<i>15,4</i>	<i>14,0</i>
MA	4,6	4,0	4,1	20,2	1,8	11,5	2,8	0,8	0,2	0,0	0,1	0,3	0,2	3,7	4,0	92,2	68,2
MA	4,7	3,9	4,1	24,7	1,6	15,2	2,1	0,6	0,2	0,0	0,0	0,3	0,2	3,0	3,3	90,6	114,4
Moyennes	4,6	3,9	4,1	22,5	1,7	13,3	2,4	0,7	0,2	0,0	0,1	0,3	0,2	3,3	3,7	91,4	91,3
	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>3,2</i>	<i>0,1</i>	<i>2,6</i>	<i>0,4</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>1,1</i>	<i>32,7</i>
MB	4,4	3,8	4,0	19,9	1,5	13,0	1,6	0,4	0,1	0,0	0,0	0,5	0,2	2,2	2,9	75,0	51,1
MB	4,5	3,8	4,0	16,2	1,4	11,7	1,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,6	0,2	2,0	2,8	73,0	61,2
Moyennes	4,5	3,8	4,0	18,1	1,5	12,3	1,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,6	0,2	2,1	2,8	74,0	56,2
	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>2,6</i>	<i>0,1</i>	<i>1,0</i>	<i>0,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>1,4</i>	<i>7,1</i>

Les écart-types sont en italique

A : zones sombres

B : zones claires

annexe II.2.5 : Taux d'occupation des types de plants selon les états de surface

Parcelles	Etats de surface	Plants chétifs (PC)			Plants vigoureux (PV)		
		Nombre de cases	Surface (m2)	%	Nombre de cases	Surface (m2)	%
TS1		189	121	58	136	87	42
TS2		267	171	82	58	37	18
TS3		212	136	65	113	72	35
Moyennes		223	143	69	102	65	31
		<i>40</i>	<i>26</i>	<i>12</i>	<i>40</i>	<i>26</i>	<i>12</i>
TL1		87	56	27	238	152	73
TL2		56	36	17	269	172	83
TL3		88	56	27	237	152	73
Moyennes		77	49	24	248	159	76
		<i>18</i>	<i>12</i>	<i>6</i>	<i>18</i>	<i>12</i>	<i>6</i>
					0		
SS1	A	136	87	42	74	47	23
	B	99	63	30	16	10	5
	Total	235	150	72	90	58	28
SS2	A	42	27	13	219	140	67
	B	30	19	9	34	22	10
	Total	72	46	22	253	162	78
SS3	A	202	129	62	89	57	27
	B	25	16	8	9	6	3
	Total	227	145	70	98	63	30
Moyennes	A	127	81	39	127	81	39
		<i>80</i>	<i>51</i>	<i>25</i>	<i>80</i>	<i>51</i>	<i>25</i>
SS	B	51	33	16	20	13	6
		<i>41</i>	<i>26</i>	<i>13</i>	<i>13</i>	<i>8</i>	<i>4</i>
	Total	178	114	55	147	94	45
MS1	A	73	46	22	128	82	39
	B	91	58	28	33	21	10
	Total	164	105	50	161	103	50
MS2	A	157	100	48	106	68	33
	B	43	28	13	19	12	6
	Total	200	128	62	125	80	38
MS3	A	139	89	43	146	93	45
	B	30	19	9	10	6	3
	Total	169	108	52	156	100	48
Moyennes	A	123	79	38	127	81	39
		<i>45</i>	<i>28</i>	<i>14</i>	<i>20</i>	<i>13</i>	<i>6</i>
	B	55	35	17	21	13	6
		<i>32</i>	<i>21</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>7</i>	<i>4</i>
	Total	178	114	55	147	94	45
					0		
SL	A	129*	83	40	128	82	39
	B	20	13	6	48	31	15
	Total	149	95	46	176	113	54
ML	A	59	38	18	206	132	63
	B	33	21	10	27	17	8
	Total	92	59	28	233	149	72

A : Zones sombres

B : Zones claires

* dont 65 cases à l'ombre, soit, 25 % des PC sur cette parcelle

Les écartypes sont en italique

Annexe II.2.6 : Poids moyens de l'épis, de la tige et de racines selon le type de plant des différentes parcelles

	PC		PV		PC	PV	PV		PC	
	Tige (g)	épis (g)	Tige (g)	épis (g)	Racines (g)		Diamètre	Hauteur	Diamètre	Hauteur
TS 1	30,4	21,6	74,8	70,3	0,1	0,6	1,9	187,1	1,2	157,4
TS2	34,0	32,5	87,4	143,2	0,1	0,2	2,2	198,2	1,1	133,3
TS3	45,2	43,0	106,4	117,6	0,0	0,7	2,1	213,2	0,8	109,9
SS1	45,9	22,4	84,7	77,8	0,0	0,5	2,1	217,5	1,1	144,4
SS2	55,8	43,7	55,0	93,5	0,2	0,5	2,0	212,4	1,2	154,0
SS3	34,6	25,5	95,1	64,5	0,1	0,2	1,9	228,5	1,2	141,4
MS1	35,1	42,0	82,7	65,2	0,1	1,3	2,2	231,6	1,0	149,4
MS2	45,9	25,0	146,9	126,2	0,0	0,4	2,0	202,3	1,1	140,3
MS3	48,9	20,6	95,1	89,4	0,1	0,2	2,0	210,1	1,2	141,5
TL1	45,6	42,8	71,9	146,2	0,1	0,4	2,1	207,6	1,1	154,9
TL2	70,1	50,0	97,3	226,4	0,3	0,6	2,4	218,4	1,3	137,4
TL3	55,0	46,7	116,4	188,9	0,3	0,3	2,3	227,8	1,2	154,2
SL1	30,3	21,4	98,3	153,2	0,2	1,1	2,3	217,7	1,2	129,8
SL2	48,2	72,8	82,6	100,4	0,3	0,4	2,3	206,6	1,3	130,2
SL3	36,4	27,1	98,5	120,6	0,2	2,2	2,4	232,9	1,2	143,6
ML1	47,5	32,3	109,2	127,0	0,2	0,8	2,5	221,3	1,3	126,1
ML2	44,0	30,8	89,6	96,0	0,1	0,8	2,3	205,8	1,3	148,4
ML3	54,9	39,8	158,7	155,3	0,3	1,0	2,3	202,5	1,3	148,9

PC : Plants chétif; PV : Plant vigoureux

Annexe II.3.1 : Description détaillée des profils culturaux.

1 Parcelle témoin sous forêt (F)

Quatre horizons ont été observés sur les 0,40 m de profondeur étudiée. Ce sont les horizons pédologiques A11 organique, sombre, superficiel, de faible épaisseur (3 cm), formé d'agrégats de terre et de tapis racinaire; A12 organo-minéral (6 cm d'épaisseur), peu sombre, moins pourvu en racines que A11, avec la présence de racines centimétriques; A2 minéral et B2 plus argileux et riches en éléments grossiers. Ils sont organisés comme suit :

- 0 à 3 cm : horizon organique A11, brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; grumeleux très net, grossier (5-10 mm), agrégats individualisés accrochés aux racines; meuble très boulang; grande porosité interagrégat; très forte activité faunique (très nombreuses turricules de vers de terre et autres invertébrés); de très nombreuses racines (mm, cm) enchevêtrées formant un tapis racinaire; résistance à la pénétration 0,06 kg/cm²; limite nette avec l'horizon sous-jacent.
- 3 à 9 cm : horizon organo-minéral A12, brun à brun sombre jaunâtre 10 YR 3/4 à 4/4 ; limono-sableux; grumeleux net grossier (5-10 mm); meuble boulang; grande porosité interagrégat; forte activité faunique; nombreuses racines (cm, mm) subhorizontales; résistance 1,38 kg/cm²; limite graduelle.
- 9 à 20 cm : horizon A2, brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 à 4/6; limono-argileux; fragmentaire net émoussé, grossier (5-10 mm); meuble à cohérent; porosité interagrégat; quelques racines (cm, mm); éléments grossiers de quartz abondants (50%); résistance 8,47 kg/cm²; limite nette.
- 20 à 40 cm et plus : horizon B2, brun à brun vif 7,5 YR 5/4 à 5/6; argilo-limoneux; fragmentaire peu net à massif grossier (5 - 10 mm), polyèdres anguleux; meuble à cohérent; porosité interagrégat et fissurale; rares racines (mm); plus de 50% d'éléments grossiers; 10,58 kg/cm²; limite graduelle avec l'horizon d'altérite sous-jacent à 50 cm de profondeur.

2. Les profils des parcelles mises en culture pendant quatre ans

2. 1. Les parcelles non labourées

• Parcelles traditionnelles non labourées (TS)

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: > 60 %, inégalement reparti.
- Résidus de maïs: à 30 %, inégalement repartis
- Types de plante: Graminées, *Chromola odorata*, dominant, et d'autres espèces de plante en faible proportion.

* A la surface du sol, on a:

- des souches de maïs,
- des débris végétaux en décomposition,
- des éléments grossiers: 15 %,
- quelques turricules de vers de terre qui témoignent la présence de faune assez discrète,

- des croûtes limoneuses peu développées, très minces, sont presque entièrement détruites par un sarclage récent. Lorsqu'elles existent encore, elles sont difficiles à reconnaître à cause de l'enherbement abondant qui maintient la surface du sol humide. Ces organisations superficielles se caractérisent par une obstruction des pores en surface. On note la présence de dépôts de sable, sous forme de fines pellicules.

Trois horizons ont été identifiés.

- 0 à 6 cm : horizon A1 ou A1(ts), brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; fragmentaire net à grumeleux grossier; meuble boulang; grande porosité biologique et interagrégat; nombreuses racines fines (mm) de maïs et de graminées, subhorizontales, denses au pied du maïs; résistance 1,81 kg/cm²; transition nette.
- 6 à 22 cm : horizon A2 ou A2(ts), brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 à 4/6; limono-argileux; fragmentaire net subanguleux moyen à grossier; meuble dans l'ensemble et boulang dans les cavités; forte activité faunique (nombreuses cavités de termites, turricules de vers de terre hypogées); nombreuses racines (mm) subhorizontales concentrées dans les cavités; 40% d'éléments grossiers de quartz ferrugineux; résistance 9,17 kg/cm²; transition nette et brutale.

22 à 40 cm et plus : horizon B2 ou B2(ts), brun vif 7.5 YR 4/6 à 5/6; argilo-limoneux; massif à fragmentaire peu net; polyédrique subanguleux moyen; meuble à cohérent; plus de 50% d'éléments grossiers, formés de graviers de quartz ferrugineux ou d'altérite de schiste. Ces éléments grossiers sont tapissés de fine pellicule d'argile vers le bas de l'horizon; racines (mm) subhorizontales inégalement réparties; résistance 9,02 kg/cm²; limite graduelle avec l'altérite de schiste à 50 cm de profondeur.

• **Parcelles semi-mécanisées sans non labourées (SS)**

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: 70 %, inégalement reparti.
- Résidus de maïs: 60 %, inégalement repartis
- Espèces végétales: Graminées dominant, Eupatorium et autres.

Surface du sol:

- Souches de maïs,
- Résidus de sarclage en décomposition,
- Eléments grossiers 30 %,
 - Croûte limono-sableuse (2cm d'épaisseur), poreuse à la face inférieure et obstruée en surface. Croûte généralisée sur toute la surface de la parcelle, malgré l'importance de l'enherbement.

0 à 10 cm : horizon A1 ou A1(ss), brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; fragmentaire peu net, polyédriques anguleux grossier (5 à 10 mm); meuble; pores biologiques (cavités de fourmis et de termites); très nombreuses racines (mm) subhorizontales, concentrées aux pieds du maïs; 30% d'éléments grossiers; résistance à la pénétration, 3,70 kg/cm²; Transition nette à brutale.

10 à 32 cm : horizon A2 ou A2(ss), brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 à 4/6; limono-argileux; fragmentaire peu net à massif, polyédrique anguleux moyen (2 à 5 mm); meuble à cohérent; 50% d'éléments grossiers; quelques pores biologiques; très nombreuses racines millimétriques, subhorizontales; résistance 10,88 kg/cm²; transition nette.

32 à 40 cm : horizon B2 ou B2(ss), brun vif 7,7 YR 4/6 à 5/6; argilo-limoneux; massif à fragmentaire peu net, polyédrique anguleux moyen à fin; peu meuble à cohérent; plus de 50 % d'éléments grossiers; de rares racines; résistance 9,84 kg/cm²; altérite à partir de 50 cm de profondeur.

• **Parcelles mécanisées sans non labourées (MS)**

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: 50 à 60 %, inégalement reparti.
- Résidus de maïs: 60 à 70 %, inégalement repartis
- Type de plante: Graminées > Eupatorium (Chromolaela odorata).

Surface du sol:

- Souches de maïs,
- Résidus de sarclage en décomposition,
- Adventices aérées (15 %),
- Eléments grossiers, de taille variable, localisés.
- Eléments grossiers < 10 %,
 - Quelques turricules de vers de terre,
 - Croûtes dégradées par le sarclage manuel. on observe par endroit de légère organisation pelliculaire, difficile à reconnaître à cause de la surface humide du sol. Certaines cependant sont un peu développées avec les pores obstrués en surface.

0 à 8 cm : horizon A1 ou A1(ms), brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; fragmentaire peu net à massif, polyédrique anguleux moyen sous les pieds de maïs et massif dans l'ensemble; meuble; peu d'éléments grossiers (20 à 30 %) graviers de quartzite et concrétions ferrugineuses; nombreuses cavités ou pores biologiques (fourmis, termites vers de terre); nombreuses racines fines (mm)

subhorizontales denses sous les souches de maïs; résistance à la pénétration $3,42 \text{ kg/cm}^2$; transition nette.

8 à 20 cm : horizon A2 ou A2(ms), brun sombre jaunâtre 10 YR 4/4 à 4/6, avec des traînées rouilles (brun vif, 7,5 YR 4/6) de l'ordre de 2 % environ; texture limono-argileux; structure fragmentaire peu nette à massive, débit polyédrique fin à moyen, subanguleux; peu meuble; 50% d'éléments grossiers, quartzites, concrétions ferrugineuses; nombreux pores fissuraux délimitant des agrégats à facettes luisantes; quelques racines inégalement réparties; résistance $10,11 \text{ kg/cm}^2$; transition nette.

20 à 40 cm : horizon B2 ou B2(ms), brun vif, 7,5 YR 4/6 à 5/6; argilo-limoneux; fragmentaire peu net, polyédrique anguleux moyen (2 à 5 mm) à faces luisantes; plus de 50% d'éléments grossiers, quartz et concrétions ferrugineuses; peu meuble à cohérent; nombreux pores (fissures); rares racines fines (mm) inégalement réparties; résistance $10,33 \text{ kg/cm}^2$.

2. 2. Les parcelles labourées

• Parcelles traditionnelles avec un labour superficiel à la houe ou minimum labour (TL)

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: de l'ordre de 40 %, inégalement reparti.
- Résidus de maïs: à 50 %, inégalement repartis
- Types de plante: Graminées, Eupatorium en faible proportion et autres.

surface du billon

La surface est assez homogène avec:

- des souches de maïs,
- des débris végétaux en décomposition,
- des éléments grossiers: 5 %,
- Quelques turricules de vers de terre,
- Quelques mottes de terre,
- de petites cavités de fourmis et termites,
- une croûte limoneuse d'environ 1mm d'épaisseur, à pores fermés en surface.

Croûtes limono-sableuse, très mince en surface *entre les billons*.

Le billon est formé d'une couche remaniée d'environ 12 cm d'épaisseur reposant sur l'horizon non labouré.

0 à 6 cm sur billon : unité Ap1 ou Ap1(tl) discontinu; brun sombre 10 YR 3/3; limono-sableux; grumeleux grossier (5 à 10 mm) et terre fine; meuble très bouillant; grande porosité interagrégat; nombreuses racines (mm) subverticales; forte activité faunique (traces et turricules de vers de terre, galeries de fourmis et de termites). résistance à la pénétration, $0,07 \text{ kg/cm}^2$; transition nette à brutale.

6 à 12 cm : Ap2 ou Ap2(tl) continu; brun sombre (10 YR 3/3); limono-sableux; fragmentaire net, émoussé moyen (2 à 5 mm) meuble bouillant; nombreuses racines subverticales sous les souches de maïs; résistance à la pénétration, $1,25 \text{ kg/cm}^2$; limite nette matérialisée par une fine couche (5 mm) de sable fin.

12 à 30 cm : A2 ou A2(tl) brun jaunâtre (10 YR 5/4) à brun sombre jaunâtre (10 YR 3/4) dans les poches biologiques; limono-argileux; fragmentaire net polyèdres anguleux; meuble; poreux; 30% d'éléments grossiers inégalement repartis; activité faunique intense (cavités de termites, fourmis, vers de terre); enracinement peu fourni; résistance $8,75 \text{ kg/cm}^2$; limite graduelle.

30 à 40 cm : B2 ou B2(tl) brun vif 7,7 YR 4/6 à 5/6; argilo-limoneux; massif à fragmentaire peu net, anguleux moyen à grossier; meuble à cohérent; plus de 50% d'éléments grossiers; quelques racines subhorizontales, inégalement réparties; résistance à la pénétration, $9,72 \text{ kg/cm}^2$; altérité à partir de 50 cm de profondeur.

L'interbillon est formé d'une couche remaniée d'environ 4 cm d'épaisseur. Il est constitué d'une partie de l'horizon Ap2(tl) qui repose sur l'horizon A2(tl) en place. Il est couvert en surface, d'une fine croûte limono-sableuse (épillite).

• Parcelles semi-mécanisées avec un labour profond au tracteur (SL)

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: 65 %, inégalement repart.
- Résidus de maïs: 40 %, inégalement repartis
- Types de plante: Graminées, Eupatorium et autres.

*Surface du sol:**Surface des billons*

- Souches de maïs,
- Résidus de sarclage en décomposition,
- Surface du sol sèche, avec affleurement de quelques mottes et des éléments grossiers, très nombreux (50%), formés de quartz ferruginisé.
- Croûte gravelo-limoneuse (3mm d'épaisseur), très poreuse à la face inférieure. Les pores sont obstrués en surface.

surface des espaces interbillon

- Résidus de sarclage en décomposition inégalement repartis
- Les éléments grossiers de répartition non homogène sont moins denses (25%) que sur billon.
- Présence de fines pellicules sablo-limoneuse.
- Présence de cavités de termites et de nombreux turricules de vers de terre sous les résidus.

Le profil cultural montre un ensemble formé de plusieurs volumes de sol dans la couche remaniée.

Le billon est couvert d'une mince croûte gravelo-limoneuse, poreuse à la face interne et obstruée en surface.

0 à 10 cm : Ap1 ou Ap1(sl), brun à brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; structure hétérogène grumeleuse nette, grossière (5 à 10 mm) et de terre fine; meuble très boulang; grande porosité interagrégat et nombreuses cavités de fourmis, de termites, de vers de terre et autres invertébrés; 40% d'éléments grossiers; très nombreuses racines (mm) subverticales; résistance 0,56 kg/cm²; limite nette.

10 à 28 cm; horizon Ap2(sl), hétérogène formé de deux principaux types de volumes discontinus

- Ap2(sl)a: brun sombre jaunâtre 10 YR 4/6; limono-argileux; fragmentaire net émoussé moyen à grossier (2 - 5 mm); meuble peu boulang; porosité interagrégat et fissures; 50% d'éléments grossiers; racines (mm) subverticales; résistance 4,53 kg/cm²; limite nette.
- Ap2(sl)b brun sombre 10 YR 3/3; limono-sableux à limono-argileux, fragmentaire subarrondi, moyen; meuble à boulang; poreux; parsemé de fins lits de sable d'environ 2 à 3 mm d'épaisseur; 50% d'éléments grossiers; nombreuses racines (mm); résistance 1,57 kg/cm²; limite nette.

28 à 40 cm et plus : B2 ou B2(sl) brun vif 7,5 YR 4/4 à 4/6; argilo-sableux; massif à fragmentaire peu net, anguleux moyen; meuble à cohérent; poreux; plus de 50% d'éléments grossiers rares racines; résistance 10,77 kg/cm².

L'interbillon est formé d'un recouvrement de 20 cm d'épaisseur sur le sol en place. Il renferme les mêmes unités (Ap2(sl)a, Ap2(sl)b et B2(sl) décrites sur le billon. Il est couvert en surface, comme dans le cas de TL, par des epillites limono-sableuses brunes 10 YR 5/3.

• Parcelles mécanisées avec un labour profond au tracteur (ML)

Couverture du sol:

- Taux d'enherbement: 65 %, inégalement repart.
- Résidus de maïs: 50 %, inégalement repartis
- Types de plante: Graminées, Eupatorium et autres.

*Surface du sol:**Surface des billons*

- Souches de maïs,
- Résidus de sarclage en décomposition,

- Surface du sol sèche, avec affleurement de quelques mottes et des éléments grossiers, très nombreux (50%), formés de quartz ferrugineux.

- Croûte gravelo-limoneuse (3mm d'épaisseur), très poreuse à la face inférieure. Les pores sont obstrués en surface.

surface des espaces interbillon

- Résidus de sarclage en décomposition inégalement repartis
- Les éléments grossiers de répartition non homogène sont moins denses (25%) que sur billon.
- Présence de fines pellicules sablo-limoneuse.
- Présence de cavités de termites et de nombreux turricules de vers de terre sous les résidus.

L'interbillon est un ensemble hétérogène, il est formé d'une couche de 22 cm environ, reposant sur l'horizon gravillonnaire non affecté par le labour.

Il comporte un épilite limono-sableux, lité, de teinte 10 Y R 3/6 en surface.

Le billon est un ensemble hétérogène, formé d'une épaisse couche d'environ 33 cm. Il comporte plusieurs volumes de sol distincts et discontinus, comme sur les parcelles SL.

0 à 7 cm : *Ap1(ml)*, brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-sableux; structure grumeleuse grossière (5-10 mm) et de terre fine: très meuble à bouillant; grande porosité interagrégats; très nombreuses racines (mm) subverticales; 40% d'éléments grossiers inégalement repartis; résistance à la pénétration 0,46 kg/cm²; transition nette à brutale.

7 à 33 cm : horizon *Ap2(ml)* hétérogène formé comme dans le cas de la parcelle semi-mécanisée (SL), de deux principaux types de volumes

- *Ap2(ml)a*, brun sombre 10 YR 4/3 à 3/3; limono-argileux; fragmentaire peu nette, émoussé moyen à grossier; peu cohérent; 50% d'éléments grossiers; parsemé de fins lits sableux discontinus; poreux (nombreuses cavités et galeries); racines fines (mm) inégalement réparties; résistance à la pénétration 2,06 kg/cm²; transition nette.

- *Ap2(ml)c*: brun sombre à brun sombre jaunâtre 10 YR 4/3 à 4/4; limono-sableux à limono-argileux; massif continu; cohérent à compact; peu poreux, peu fissuré avec quelques cavités; Il est tapissé de racines, mais en contient peu à l'intérieur; quelques éléments grossiers (30%); accumulation noirâtre de matière organique par endroit; résistance 14,12 kg/cm²; limite nette.

33 cm à 40 cm et plus : *B2 ou B2(ml)*, brun vif 7,7 YR 4/4; argilo-limoneux; massif à fragmentaire peu nette; peu meuble à cohérent; plus de 50% d'éléments grossiers; poreux; enracinement très faible; résistance à la pénétration 10,49 kg/cm²; altérite à partir de 50 cm de profondeur.

Interbillon

L'interbillon est également un ensemble hétérogène, il est formé d'une couche de 22 cm environ, reposant sur l'horizon gravillonnaire, B2, non affecté par le labour. Il est couvert d'un épilite limono-sableux, de teinte 10 YR 3/6 en surface. Sous la pellicule, on retrouve les unités, *Ap2(ml)a* de 0 à 16 cm, *Ap2(ml)c* de 16 à 24 cm et *B2(ml)* de 33 à 40 cm et plus, décrites sous billon :

• Le profil cultural des zones claires

Dans les zones dites de surface claire (B) des parcelles semi-mécanisées ou mécanisées labourées, il existe en surface (de 0 à 10 cm de profondeur), un volume *Ap3* présentant des caractéristiques différentes de celles du volume *Ap1* des zones sombres. sur billon, nous avons, sur parcelle labourée.

0 à 12 cm environ : horizon *Ap3(sl)* pour la parcelle semi-mécanisée SL et *Ap3(ml)* pour ML pour la mécanisée; brun jaunâtre 10 YR 5/4 à 5/6; limono-argileux; fragmentaire peu net moyen; alternance de bancs de sable (2 à 3 mm); meuble; poreux (cavités, fissures); plus de 50% d'éléments grossiers; nombreuses racines fines (mm); résistance 2,52 kg/cm²; limite nette, marquée par des bancs de sable discontinus.

Ces volumes de sol proviennent d'une remontée de terre de termitière ou de retournement des terres de profondeur lors du labour. Sous cette couche *Ap3*, on retrouve la même hétérogénéité que celle observée sur les profils effectués dans les zones dites sombres (schéma).

Annexe II.3.2. : Principes des déterminations porales

1. METHODE DES DENSITES

1.1. Densité réelle des solides (Pycnomètre)

La densité des sols minéraux est déterminée selon le protocole suivant, les pesées étant effectuées au milligramme :

- Dans une fiole jaugée de 50 ml préalablement tarée (P1), introduire environ 15 grammes de terre séchée à 105°C, puis peser l'ensemble (P2)
- Remplir la fiole avec de l'eau distillée et refroidie, aux trois-quarts de son volume, et la porter sur plaque chauffante
- Porter doucement à l'ébullition que l'on maintiendra une demi-heure en agitant de temps en temps pour éviter les projections.
- Laisser refroidir, puis compléter au volume avec de l'eau distillée bouillie et refroidie.
- Ajuster avec précision au trait de jauge en s'aidant au besoin d'un tortillon de papier filtre.
- Peser la fiole (P3).
- Noter la température (T1) de la fiole.
- Vider la fiole de son contenu, la laver soigneusement puis la faire sécher à l'étuve à 105°C.
- Sortir la fiole de l'étuve, la laisser refroidir, puis la remplir d'eau distillée et refroidie, et ajuster avec précision au trait de jauge.
- Peser la fiole remplie d'eau (P4).
- Noter la température de la fiole (T2).

Après avoir, à l'aide du tableau II, pris connaissance des densités de l'eau pour les températures T1 et T2, soit respectivement D1 et D2, la masse volumique des solides du matériau est donnée par la relation :

$$D_r (g/cm^3) = (P2-P1) / (((P4-P1)/D2) - ((P3-P2)/D1))$$

Trois répétitions sont faites par échantillon, devant aboutir à un intervalle de confiance de la moyenne (IC) de 0.02 au maximum, pour une probabilité de 5 %. Si cela n'était pas le cas, il est nécessaire de refaire une ou deux répétitions.

Nota: Si la détermination n'est effectuée que sur des éléments grossiers, il y a lieu de les broyer et d'homogénéiser la prise d'essai.

1.2. Densité apparente

1.2.1. Méthode à la paraffine sur motte

Elle concerne les échantillons d'un volume compris entre 30 cm³ et 500 cm³, et s'effectue sur mottes sèches, ou sur mottes humides si leur cohésion le permet, ayant donc pour avantage de pouvoir mesurer les effets des phénomènes de retrait-gonflement.

La motte est d'abord séchée à l'air, puis à l'étuve à 105°C. Après refroidissement, et selon son volume, elle est attachée avec un morceau soit de fil à coudre, soit de fine ficelle, de manière que le poids et le volume de celui-ci soient négligeables. Elle est nettoyée à l'aide d'un pinceau jusqu'à ce qu'il ne tombe plus de particules lorsqu'elle est doucement secouée. Ainsi préparée, la motte est pesée au centigramme (P1).

1.2.2. Enrobage à la paraffine

Mettre le récipient sur plaque chauffante et chauffer jusqu'à ce que la paraffine se trouve juste au dessus de son point de fusion. L'enrobage peut commencer lorsqu'une tige de verre plongée et retirée rapidement ne laisse s'écouler qu'une seule goutte de paraffine. La motte froide est alors plongée dans la paraffine et retirée rapidement en la maintenant suspendue au-dessus du récipient. On laisse la paraffine se figer par refroidissement, puis on recommence l'opération d'enrobage et figeage jusqu'à ce que la motte soit recouverte de façon parfaitement hermétique. On suspend la motte à une potence, et on la laisse refroidir jusqu'à la température ambiante. La motte enrobée est alors pesée (P2). Le poids de la paraffine d'enrobage (P2-P1) ne doit pas dépasser 10 % du poids de la motte.

1.2.3. Mesure du volume

Il est généralement mesuré selon le principe d'ARCHIMEDE, mais lorsque la motte est trop grosse ou de forme inadaptée, il peut être mesuré par déplacement de volume, les pesées s'effectuant dans tous les cas au centigramme.

- Poussée d'ARCHIMEDE

On pose sur le plateau d'une balance un bécher au trois-quart rempli d'eau distillée. On note la température de l'eau (T°C), puis on met la balance à zéro. A l'aide d'une potence disposée près de la balance, on immerge la motte dans l'eau et, après stabilisation, on note la poussée (P3). Aucune bulle ne doit apparaître à la surface de l'eau pendant l'immersion, sinon, l'étanchéité de la motte n'est pas parfaite, de l'eau pénètre à l'intérieur, et la détermination du volume est faussée.

- Déplacement de volume

Un récipient de gros volume est rempli aux trois-quarts d'eau distillée. Un syphon en verre, dont une des branches a le bout effilé et une longueur du tiers de l'autre, est rempli d'eau distillée, et la branche la plus longue plongée dans le récipient tandis que l'on maintient fermée la branche la plus courte avec un doigt. La branche la plus longue touchant le fond, on ouvre la plus petite de manière, si le niveau de l'eau du récipient est supérieur à celui de la pointe effilée, à assurer par écoulement dans un bécher placé au dessous la mise à niveau. On vide alors le bécher, on le tare sur la balance en la mettant à zéro, et on le replace au-dessous de la pointe effilée. On plonge alors la motte enrobée dans

l'eau, et on attend que le déplacement d'eau correspondant au volume de la motte se réalise. On note la température ($T^{\circ}\text{C}$) et on pèse le bécher (P_3).

1.2.4. Calculs

La masse volumique de la paraffine (D_p) peut varier selon les produits entre 0.87 et 0.91. On la prend généralement égale à 0.90, mais elle peut être déterminée par poussée d'Archimède dans du pétrole. A l'aide du tableau II, on note la masse volumique de l'eau (D_e) correspondant à la température ($T^{\circ}\text{C}$).

Volume de la motte : $V_m = (P_3/D_e) - ((P_2 - P_1)/D_p)$

Masse volumique apparente de la motte sèche : $M_{ve} = P_1 / V_m$

Masse volumique apparente de la motte humide (ramenée à la terre séchée à 105°C) :

$M_{ve(h)} = (P_1 / (1 + (H_p/100))) / V_m$

1.2.5. Méthode au pétrole

Elle concerne les mottes d'un volume inférieur à 30 cm^3 . La motte est séchée à l'étuve à 105°C , refroidie en dessiccateur, attachée avec un morceau de fil à coudre, pesée (P_1), introduite dans une capsule, et doucement recouverte de pétrole. On laisse la saturation s'effectuer pendant au moins quatre heures.

La motte est retirée de la capsule et suspendue à une potence disposée près de la balance. Sur le plateau de celle-ci, on pose un bécher de 100 cm^3 que l'on remplit aux trois-quarts de pétrole. La motte est laissée ressuyer jusqu'à ce que sa surface prenne un ton mat au lieu de brillant, et qu'aucune goutte ne s'en écoule. S'il reste une fraction de goutte sur sa surface inférieure, on peut la retirer à l'aide d'un morceau de papier filtre.

La balance mise à zéro, on immerge la motte en descendant la potence. Aucune bulle d'air ne doit venir crever à la surface. On attend la stabilisation, puis on note la poussée (P_2).

La détermination de la masse volumique du pétrole (D_p) s'effectue dans les mêmes conditions de température et la même qualité du liquide. Pour cela, on tare une fiole (t_1) de 50 cm^3 (n'ayant jamais subie de chauffage), que l'on remplit de pétrole en ajustant avec précision au trait de jauge, et on pèse l'ensemble (t_2). Dans ces conditions, $D_p = (t_2 - t_1) / 50$.

La masse volumique apparente de la motte est donnée par la relation :

$M_{ve} = P_1 * D_p / P_2$.

2. POROSIMETRIE AU MERCURE.

La Porosimétrie au mercure est une méthode proposée en 1921 par E.W. Washburn pour déterminer la distribution de la taille des pores dans des matériaux poreux, développée sur divers types de matériaux solides (Ritter et Drake, 1945), puis appliquée à des échantillons de sol (Diamond, 1970 ; Nagpal et al, 1972 ; Lawrence, 1978 ; Pellerin, 1980 ; Fies, 1984).

Principe.

La porosimétrie au mercure consiste à mesurer, dans un échantillon de sol préalablement séché et dégazé, le volume cumulé de mercure introduit dans la porosité, lorsque des pressions croissantes lui sont appliquées. Le mercure étant un fluide non mouillant, son intrusion dans la porosité ne peut se faire que par application d'une pression, d'autant plus importante que les pores sont fins. Considérant des pores cylindriques, la pression appliquée peut être reliée au diamètre équivalent des pores par la loi de Jurin dont l'expression est :

$$P = -4 \gamma \cos\theta / D$$

Avec γ tension superficielle du mercure (Nm^{-1}), θ angle de raccordement du ménisque à l'interface mercure-solide, D diamètre (m), et P pression appliquée (Pa).

Appareillage.

Le Pore Sizer 9310 (Micromeritics) est un appareil semi-automatique permettant des mesures dans une gamme de pression de 10^{-2} à 206 MPa, correspondant à des diamètres équivalents de pores de 400 à $0.006\mu\text{m}$. Il est constitué de deux postes, un poste dit "basse pression" pour les pressions inférieures à la pression atmosphérique (mesures en manuel), un poste dit "haute pression" pour les pressions supérieures à la pression atmosphérique (mesures en manuel ou en automatique). Pour les mesures en haute pression, la vitesse d'intrusion, le pas de pression et le temps d'équilibrage de celle-ci, peuvent être programmés dans une table et le pilotage être automatique. Deux cellules de mesures peuvent être traitées simultanément en basse pression tandis que le poste haute pression ne permet de traiter qu'une seule cellule.

Divers types de cellules existent selon la nature des échantillons (poudreux ou agrégés), leur volume et le volume poral suspecté (voir Annexe). Une cellule de mesure est constituée d'une chambre cylindrique en verre de 16 mm de diamètre et de 26 mm de profondeur, prolongée par un capillaire d'une longueur de 200 mm, le choix du diamètre interne dépendant de la nature de l'échantillon. Le capillaire est métallisé à sa périphérie et constitue donc un condensateur quand sa lumière intérieure est occupée par le mercure. La mesure de la capacité de ce condensateur permet donc d'avoir accès au volume de mercure introduit dans l'échantillon par l'intermédiaire d'un facteur de conversion propre à chaque type de capillaire.

Procédure.

L'échantillon déshydraté (étuvage, dessiccateur à point critique,...) est introduit dans la cellule de mesure préalablement tarée, et l'ensemble est pesé. La cellule est alors transférée dans le poste "basse pression" et soumise à un vide de l'ordre de $1 \cdot 10^{-5}$ MPa avant son remplissage par le mercure. En "basse pression", 25 points de mesures peuvent être effectués pour des pressions comprises entre $3 \cdot 10^{-3}$ et 10^{-1} MPa. Entre chaque mesure, le pas de temps varie en fonction de l'obtention de l'équilibre que l'on considère atteint lorsque la variation de capacité est inférieure ou égale à 0.01 pF. Lorsque la pression atmosphérique est atteinte, la cellule de mesure est repesée puis introduite dans le poste "haute pression" où la pression est transmise au mercure par l'intermédiaire d'une huile spéciale. En procédure automatique, la vitesse de montée en pression, le pas de pression et le temps d'équilibre peuvent être programmés. Jusqu'à 206 MPa, pression maximale autorisée, soixante-quinze points de mesures sont réalisables offrant de plus la possibilité de tester l'effet d'hystérésis.

La table de pression utilisée comporte 49 points de mesure pour la montée en pression et 18 points pour le retour à la pression atmosphérique, le pas de pression utilisé étant de 1.2589 (série de Renard).

Un programme informatique permet d'obtenir :

- d'une part les résultats généraux :
 - volume total de mercure introduit, exprimé en cm^3/g ,
 - surface totale des pores, exprimée en m^2/g ,
 - diamètre médian par rapport au volume, exprimé en μm ,
 - diamètre médian par rapport à la surface, exprimé en μm ,
 - diamètre moyen des pores ($4V/A$), exprimé en μm ,
 - densité apparente de l'échantillon, exprimée en g/cm^3 (*),
 - densité (apparente) des solides, exprimée en g/cm^3 (*),
- d'autre part les courbes spécifiques :
 - courbe cumulée d'intrusion de mercure en fonction du diamètre d'entrée des pores,
 - courbe cumulée de la surface spécifique en fonction du diamètre d'entrée des pores,
 - courbe incrémentale d'intrusion de mercure en fonction du diamètre d'entrée des pores,
 - courbe incrémentale de la surface spécifique en fonction du diamètre d'entrée des pores,
 - courbes dérivées d'intrusion de mercure en fonction du diamètre d'entrée des pores, ($dV/d \log D / \log D$ ou $\log (dV/dD) / \log D$).

* densité apparente du sol et densité (apparente) des solides permettent de calculer la porosité dite 'ouverte'; la porosité dite 'fermée' n'est accessible que par détermination de la densité réelle des solides par la méthode pycnométrique.

Commentaires.

La porosimétrie au mercure, est une méthode de détermination de la distribution de la taille des pores facile à mettre en oeuvre par rapport aux courbes de rétention d'eau. Cependant plusieurs sources d'erreur ont été identifiées. La valeur de l'angle de contact mercure-solide est incertaine, pouvant varier entre 112° et 150° selon les matériaux poreux (Lawrence, 1977). Pour des systèmes argile-mercure, elle peut varier de 139° pour une montmorillonite à 147° pour l'illite et la kaolinite (Diamond, 1970). Dans la majorité des cas une valeur de 130° est acceptable. L'hystérésis semble influencer cette valeur, et l'on observe que pour une pression donnée, le volume de mercure est plus grand lors de l'extrusion que durant l'intrusion. Des valeurs variant de 430 à 520 Nm^{-1} ont été observées pour la tension de surface du mercure, mais les erreurs associées sont très faibles par rapport à celles dues à l'angle de contact. D'autres sources d'erreur sont identifiées telles que la compressibilité du mercure, de son impureté et des problèmes d'entrée d'air dans l'échantillon. La fermeture de pores et la compression résultante de l'échantillon durant la période de mesure peut aussi être une source d'erreur.

Annexe II.3.3 : Caractéristiques porales des éléments grossiers (EG) dans les UMII

Parcelles	UMII	EG (%) volumiques	EG (%) pondéraux	da EG	dr EG	Porosité (%) des EG
Forêt (F)	A11	3.32	6.02	2.65	2.81	5.53
	A12	28.94	51.20	2.74	2.81	2.32
	A2	18.98	30.72	2.69	2.81	4.10
	B2	61.00	93.93	2.75	2.81	1.96
Mecanise sans labour (MS)	A1(ms)	6.82	10.72	2.53	2.81	9.80
	A2(ms)	0.71	1.22	2.77	2.81	1.25
	B2(ms)	6.00	9.29	2.62	2.81	6.60
	Ap1(ml)	24.51	38.19	2.53	2.81	9.80
Mecanise avec labour profond (ML)	Ap2(ml)a	52.57	82.21	2.62	2.81	6.60
	Ap2(ml)c	0.00	0.00	2.48	2.81	11.59
	B2(ml)	73.94	95.08	2.62	2.81	6.60
	Ap1(sl)	16.16	25.85	2.65	2.81	5.53
Semi mecanise avec labour profond (SL)	Ap2(sl)a	76.71	96.29	2.76	2.81	1.60
	Ap2(sl)b	57.86	77.67	2.70	2.81	3.74
	B2(sl)	82.34	98.52	2.69	2.81	4.10
	Ap3(sl)	59.69	90.80	2.81	2.81	0.00
Semi-mecanise sans labour (SS)	A1(ss)	0.00	0.00	2.79	2.81	0.53
	A2(ss)	66.02	84.92	2.67	2.81	4.81
	B2(ss)	88.70	99.01	2.64	2.81	5.88
	A1(us)	5.51	9.95	2.79	2.81	0.53
Traditionnel sans labour (TS)	A2(us)	1.92	3.13	2.56	2.81	8.73
	B2(us)	3.89	5.84	2.39	2.81	14.80
	Ap1(u)	0.00	0.00	0.00	2.81	0.00
	Ap2(u)	0.00	0.00	0.00	2.81	0.00
superficiel (TL)	A2(u)	0.00	0.00	0.00	2.81	0.00
	B2(u)	71.62	95.25	2.67	2.81	4.81

Annexe II.3.4 : Caractéristiques porales déterminées par la méthode des densités et au Porosimètre à mercure (Hg) des unités morphologiques homogènes (UMII)

Parcelles	UMII	da sur motte	dr sur motte calculée	% EG pondéraux sur motte	Diamètre moyen (µm)	da Hg	dr calculée Hg	EG (%) volumique	EG (%) pondéraux	da EG	dr terre fine	da terre fine	Porosité terre fine (%)
Forêt (F)	A11	1.20	2.51	0.00	0.16	1.40	2.53	3.32	6.02	2.65	2.51	1.36	46.00
	A12	1.26	2.57	0.00	0.13	1.55	2.69	28.94	51.20	2.74	2.57	1.06	59.00
	A2	1.32	2.61	9.74	0.09	1.66	2.65	18.98	30.72	2.69	2.59	1.42	45.00
	B2	2.02	2.74	61.86	0.08	1.79	2.79	61.00	93.93	2.75	2.63	0.28	89.00
Mecanise sans labour (MS)	A1(ms)	1.47	2.66	5.91	0.10	1.61	2.67	6.82	10.72	2.53	2.65	1.54	42.00
	A2(ms)	1.58	2.69	0.53	0.08	1.60	2.69	0.71	1.22	2.77	2.69	1.59	41.00
	B2(ms)			0.05	0.05	1.69	2.68	6.00	9.29	2.62	2.67	1.63	39.00
	Ap1(ml)			0.12	0.12	1.62	2.71	24.51	38.19	2.53	2.65	1.33	50.00
Mecanise avec labour profond (ML)	Ap2(ml)a	1.50	2.62	14.44	0.16	1.68	2.76	52.57	82.21	2.62	2.59	0.63	76.00
	Ap2(ml)c	1.63	2.63	1.02	0.10	1.64	2.63	0.00	0.00	2.48	2.63	1.64	35.00
	B2(ml)			0.05	0.05	2.04	2.79	73.94	95.08	2.62	2.59	0.38	85.00
	Ap1(sl)	1.70	2.69	40.95	0.15	1.66	2.66	16.16	25.85	2.65	2.61	1.47	44.00
Semi mecanise avec labour profond (SL)	Ap2(sl)a	1.94	2.75	64.28	0.05	2.20	2.80	76.71	96.29	2.76	2.67	0.35	87.00
	Ap2(sl)b	1.94	2.74	64.28	0.11	2.01	2.77	57.86	77.67	2.70	2.64	1.07	60.00
	B2(sl)			0.05	0.05	2.25	2.80	82.34	98.52	2.69	2.62	0.19	93.00
	Ap3(sl)	1.69	2.71	40.48	0.09	1.87	2.79	59.69	90.80	2.85	2.65	0.43	84.00
Semi mecanise sans labour (SS)	A1(ss)	1.37	2.65	6.14	0.25	1.33	2.65	0.00	0.00	2.79	2.65	1.33	50.00
	A2(ss)	2.12	2.77	72.45	0.12	2.08	2.79	66.02	84.92	2.67	2.68	0.92	66.00
	B2(ss)	2.04	2.74	63.09	0.07	2.37	2.80	88.70	99.01	2.64	2.64	0.21	92.00
	A1(us)	1.35	2.57	6.42	0.15	1.55	2.58	5.51	9.95	2.79	2.55	1.47	42.00
Traditionnel sans labour (TS)	A2(us)	1.68	2.70	33.81	0.11	1.56	2.65	1.92	3.13	2.56	2.65	1.55	42.00
	B2(us)	1.60	2.76	32.26	0.07	1.59	2.74	3.89	5.84	2.39	2.74	1.56	43.00
	Ap1(u)	1.20	2.59	13.84	0.20	1.38	2.56	0.00	0.00	-	2.56	1.38	46.00
	Ap2(u)	1.26	2.61	6.55	0.10	1.51	2.60	0.00	0.00	-	2.6	1.51	42.00
superficiel (TL)	A2(u)	1.56	2.65	11.80	0.07	1.62	2.63	0.00	0.00	-	2.63	1.62	39.00
	B2(u)			0.05	0.05	2.01	2.80	71.62	95.25	2.67	2.63	0.34	87.00

Annexe II.3.5 : Description détaillée de la micro-morphostructure des UMH

* Le témoin forestier (F)

B2 ne comporte presque pas d'agrégats à la base. On note la présence de quelques amorce d'agrégats non distincts dans sa partie supérieure (vers le haut de l'horizon). Dans l'ensemble, la porosité est communicante. Elle est essentiellement formée de 50 % de fissures de dimensions variant entre 49 μm et 196 μm de diamètre, de cavités (30 %) de 490 à 1960 μm de diamètre et de chambres (245 à 1470 μm) et chenaux. La matrice, très hétérogène, est constituée de graviers de quartzites, de gravillons ferrugineux, d'argile et d'oxydes. Les graviers de quartzites (gris clair à gris foncé sur la photo) sont fissurés avec des précipitations ferrugineuses noirâtres dans les fissures, mais ils sont peu poreux. Les gravillons ferrugineux, par contre, présentent quelques pores visibles de 115 μm à 300 μm de diamètre, en général, non reliés à un réseau continu et qui, par conséquent, seraient difficilement accessibles aux mesures de porosimétrie à mercure.

A2 présente une structure plus développée qu'au niveau de B2, avec des amorce d'agrégats anguleux, accommodés de taille variable (1075 à 1750 μm). La porosité est surtout composée à 40 % de fissures en continues de 48 μm à 196 μm de diamètre, de cavités (20 %) de 480 μm à 1000 μm de diamètre reliées entre elles par des fissures plus fines. De pores d'entassement (20 %), de quelques chambres et chenaux. Cette porosité augmente du bas vers le haut de l'horizon avec une individualisation plus importante des agrégats par rapport à B2. La matrice est formée comme dans le cas de B2, de graviers de quartzites, de gravillons ferrugineux, d'argile et d'oxydes.

A12 comporte des agrégats bien individualisés, mamelonnés et émiettés vers la partie supérieure et des agrégats à développement incomplet vers le bas de l'horizon. Ces agrégats sont de taille variable (4500 à 7500 μm de diamètre) et bien plus gros que ceux de l'horizon inférieur A2. La porosité est entièrement ouverte se compose à 20 % de fissures en continue, de 31 μm à 375 μm de diamètre, à parois non concordantes, de cavités (25 %) de 620 μm à 875 μm plus ou moins connectées par des fissures, de quelques chambres (576 μm à 960 μm) reliées entre elles par des chenaux, et nombreux pores d'entassement vers le haut de l'horizon témoignant d'une forte activité faunique dans cet horizon. Cette porosité, de même que les agrégats, apparaît plus développée vers le haut de l'horizon. La matrice est formée d'argile, de grains de quartzites, d'oxyde et de concrétions ferrugineuses de plus petite taille que dans les horizons B2 et A2 plus en profondeur.

A11 possède une structure agrégée et plus émiettée, avec des agrégats individualisés de diverses tailles (80 μm à 4400 μm). La porosité est entièrement ouverte et communicante. Elle est essentiellement formée de pores d'entassement (plus de 50 %), de cavités (30 %) d'environ 800 μm de diamètre, connectés par des fissures non concordantes, de chambres reliées par des chenaux (1500 μm à 4800 μm). En somme, une porosité complexe. La matrice est semblable à celle de A12.

Les caractères morphostructuraux des horizons sous forêt apparaissent en accord avec les observations faites à l'échelle du profil cultural. On note donc une aération importante dans l'organisation interne des horizons supérieurs par rapport à celle des horizons de profondeur.

* Parcelles mises en culture

- Parcelles non labourées

B2(ts), B2(ss) et B2(ms) des parcelles traditionnelles, semi-mécanisées et macanisées mises en culture sans labour présentent pratiquement la même organisation que celle de B2 sous forêt. Ils sont caractérisés par la coexistence de structure non agrégée continue et de structure à agrégation diffuse. Cependant, la porosité est plus resserrée que celle de B2 sous forêt. Elle est essentiellement (50 %) fissurale (50 à 150 μm de diamètre) et peu communicante avec l'existence de cavités (30 %), parfois cutanées, de dimensions (300 à 1000 μm de diamètre) plus réduites que celle de B2 sous forêt. La matrice est composée du même matériel que sous forêt. L'absence de chambre et de chenaux témoigne de la faible activité faunique dans cet horizon B2 en conditions cultivées comme nous l'avons indiqué lors de l'étude du profil cultural.

A2(ts) de la parcelle traditionnelle sans labour (TS) présente une structure peu agrégée dans l'ensemble. Par rapport à A2 sous forêt, les agrégats sont plus resserrés les uns des autres, formant de grandes plages d'environ 1500 μm à 3750 μm par endroits. Ils sont limités par des fissures plus ou moins régulières. La structure interne de ces agrégats est continue. Vers le bas de l'horizon, la porosité essentiellement fissurale (75 μm à 150 μm) comporte quelques cavités (1875 μm). On note des traces d'entraînement argileux (orientation des feuillets d'argile) dans les chenaux. La porosité est plus ouverte vers le haut où elle est composée de pores d'entassement, (galeries remplies de terre d'horizon de surface), de fissures (68 μm à 300 μm de diamètre) irrégulières de chambres (450 μm à 2300 μm) et de chenaux (500 μm à 1200 μm de diamètre) plus abondants que dans le niveau inférieur.

A2(ss) et *A2(ms)* des parcelles semi-mécanisées et mécanisées sans labour ont une organisation peu agrégée par rapport, à la fois, à celle de *A2(ts)* des parcelles traditionnelles et de *A2* du sol forestier avec une coexistence de structure non agrégée continue et de structure à agrégation diffuse incomplète vers le haut de l'horizon. Ce début d'agrégation est dû à l'action des racines. La porosité est à dominance (55 %) composée de cavité d'environ 75 µm à 300 µm de diamètre. Les fissures et les chenaux sont peu observées du fait du tassement sous l'effet du défrichement suivi de la mise en culture et de la baisse de l'activité faunique. La porosité planaire communicante observée sous forêt est remplacée par une porosité peu ouverte sur les parcelles cultivées.

La matrice est semblable à celle de l'horizon *A2* sous forêt pour les trois situations. Elle est formée de grains de quartzites fissurés avec des concentrations d'oxydes dans les fissures, de gravillons ferrugineux concentriques, d'oxydes, de muscovites, d'argiles et de racines.

A1(ts) est caractérisé en grande partie par une structure incomplète. Les agrégats d'environ 3250 µm de diamètre sont peu isolés par rapport à *A1* sous forêt. La porosité, partiellement ouverte, est constituée à 35 % de pores d'entassement, de cavités (30 %), de fissures (150 à 1000 µm de diamètre) et de quelques chambres et chenaux.

A1(ss) de la parcelle semi-mécanisée apparaît dans l'ensemble moins aéré que *A1(ts)* de la parcelle traditionnelle et *A1* du témoin forestier. Il est caractérisé par l'existence de zones à agrégation incomplète poreuses et de zone à structure continue et massive peu poreuse, représentant près de 40 % de la surface observée. Les zones poreuses comportent des traces d'activité faunique matérialisées par des pores d'entassement, de chenaux, tandis que les zones peu poreuses ne renferment que quelques cavités isolées et non communicantes.

A1(ms) de la parcelle défrichée entièrement au bulldozer ne comporte pas d'agrégats. Il est caractérisé, comme dans le cas de *A1(ss)*, par la coexistence de trois types de zones: une zone à porosité partiellement ouverte, une zone intermédiaire comportant des pores vésiculaires fermés (cavités) à contours irréguliers et une zone dont la matrice est continue, peu poreuse avec quelques pores fermés. Cette zone massive est la plus représentée (environ 50 % de la surface observée). La taille des pores est comprise entre 75 µm et 2000 µm de diamètre.

La matrice est formée, dans les trois situations de défrichement, de quartzites (150 µm à 7250 µm) dont les plus gros comportent des pores de diverses tailles (150 à 400 µm), d'oxydes et d'argile.

Contrairement à *A1(ts)* et *A1(ss)* et par rapport à *A1* sous forêt, *A1(ms)* présente des caractères de compactage plus sévère qui se traduisent par l'absence d'agrégats et de pores ouverts voire par l'absence de pores à certains endroits. Les zones non poreuses représenteraient ainsi un stade ultime du tassement du sol qui subsistent malgré l'influence de l'enracinement qu'aurait subi cet horizon. Il subsiste encore des vestiges des contraintes du défrichement.

* *

*

Le défrichement suivi de la mise en culture sans labour a affecté l'organisation interne du sol par degré différent selon les horizons et le mode de défrichement. Les deux premiers horizons *A1* et *A2* sont les plus touchés. Le sol plus aéré et agrégé avec une porosité entièrement communicante, sous forêt, devient de compact avec une diminution de la porosité ouverte sous parcelle traditionnelle et sa transformation, partielle ou totale, en une porosité fermée (quelques cavités), sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées. Malgré le grand diamètre (300 à 2000 µm) des cavités observées dans les horizons *A1(ss)* et *A1(ms)* leur géométrie (fermé ou communication étroite par des fissures non observées à cette échelle) ne permettrait d'obtenir une entrée du mercure qu'à partir de pressions relativement plus élevées. Ce qui explique l'absence de pic du spectre poral de ces horizons dans les classes de grand diamètre poral. Le défrichement a donc entraîné, en plus de la réduction du volume poral, une modification de la géométrie des pores. Cette réorganisation interne du sol en une configuration plus massive confirme l'hypothèse d'un milieu confiné pouvant constituer un obstacle à un développement optimal des racines du maïs.

- Parcelles labourées

B2(tl), *B2(sl)* et *B2(ml)* non remaniés présentent dans les trois situations de parcelles labourées (superficiel ou profond), la même organisation que celle des parcelles non labourées.

Les différences d'organisation interne se situent au niveau des unités morphologiques homogènes *Ap* de la couche labourée.

Ap1(tl), *Ap1(sl)*, et *Ap1(ml)* présentent pratiquement la même organisation pour toutes les situations. La structure est entièrement agrégée et morcelée avec des agrégats de diverses tailles. On distingue de gros agrégats

de 1610 μm à 6840 μm de diamètre de forme arrondie et poreux (chambres et cavités) et de petits agrégats de l'ordre de 288 μm à 960 μm de diamètre, isolés ou regroupés pour former des agrégats plus gros.

Sur les parcelles semi-mécanisées ou mécanisées labourées au tracteur, du fait du mélange de terre de profondeur avec celle de surface, on distingue les agrégats riches en matière organique plus morcelés et ceux plus riches en argile, issus des terres de profondeur. Ces derniers ont une organisation interne plus compacte. Cette disparité dans l'organisation interne des agrégats n'est pas observée sur les parcelles traditionnelles avec un labour à la houe du fait de l'origine superficiel et homogène du matériel remanié (horizon A1). La porosité des Ap1 est très développée (près de 50 % de vide en surface). Elle est composée, à dominance, de très nombreux pores d'entassement, de fissures (23 μm à 300 μm de diamètre) irrégulières, de chenaux (1920 μm), de chambres (450 à 2300 μm) et de cavités (2208 μm à 2400 μm) reliées par les fissures. La porosité interne des agrégats est surtout composée de chambres (230 μm) de cavités (115 μm) et de quelques fines fissures. La matrice est formée de grains de quartzites fissurés avec des concentrations d'oxydes dans les fissures, de gravillons ferrugineux concentriques (3840 μm) et poreux (fissures de 120 μm à 480 μm), d'oxydes, de muscovite, d'argile, de matière organique et de racines.

Ap3 issue des zones claires apparaît aussi poreux que les UMH Ap1 à cause de l'activité racinaire. Cependant, du fait de son origine des terres de profondeur riches en argile et plus compactes au départ, les agrégats sont peu individualisés. La porosité est essentiellement formée de cavités (800 à 4000 μm), de pores d'entassement et de chenaux (3200 μm) dus de l'activité faunique entretenue par l'environnement racinaire. La structure interne des agrégats est massive et non poreuse.

Ap2(sl) et Ap2(ml)a ont également une organisation semblable entre elles et moins aérée que celle de Ap1. La structure est incomplète avec des amorces de gros agrégats centimétriques (1,5 cm à 2 cm de diamètre), non isolés. La structure interne de ces agrégats est continue dans les UMH Ap2(sl) et Ap2(ml)a des parcelles semi-mécanisées et mécanisées labourées au tracteur. La taille des agrégats est plus réduite (3200 à 9600 μm de diamètre) et leur organisation interne plus aérée pour Ap1(tl) issues des parcelles traditionnelles avec un labour superficiel. Leur porosité est, dans l'ensemble, moins importante que dans l'unité supérieure Ap1. Dans les Ap2(sl) et Ap2(ml)a, elle est formée de pores d'entassement, de chenaux, (576, 1248 μm), de chambres (690 μm), de quelques cavités à l'intérieur des agrégats à structure continue (75 à 375 μm), de fissures irrégulières (46 à 280 μm) et de cavités de 40 à 75 μm de diamètre à l'intérieur des graviers de quartzite.

Ap2(tl) de la parcelle traditionnelle possède des pores d'entassement plus nombreux qu'en Ap2(sl) et Ap2(ml)a, à cause de la plus forte activité faunique. Il existe également des fissures (23 à 690 μm) irrégulières, des chenaux (230 à 800 μm), des chambres (7680 μm) et des cavités (1200 μm).

La matrice est plus hétérogène dans Ap2(sl) et Ap2(ml)a où elle est constituée de quartzites de diverses tailles (750 à 3000 μm) poreux (40, 75 μm), d'oxydes, de muscovite, d'argiles, de matière organique et de racines. Elle ne comporte pas d'éléments grossiers de quartzites en Ap1(tl), et apparaît plus riche en matière organique.

Ap2(ml)c, compacte, issue de la parcelle mécanisée labourée a une organisation semblable interne semblable à celle de l'horizon A1(ms). Contrairement à A1(ms) qui possède, par endroit, une porosité ouverte, Ap2(ml)c a une structure entièrement continue percée de quelques cavités (150 à 900 μm) et de fissures (90 μm). La matrice est composée, comme les autres unités et horizons de surface, de grains de quartzites, d'oxydes, de muscovite, d'argile, de matière organique et d'inclusions plus ou moins dégradées de matière organique fraîche. Ce qui confirme l'hypothèse émise antérieurement sur son origine superficielle.

A2(tl) non remanié de la parcelle traditionnelle labourée TL, présente une structure interne massive peu différente de celle de A2(ts) de la parcelle TS non labourée. Il est parcouru de quelques fissures délimitant des agrégats incomplets (1500 μm à 3750 μm) à organisation interne continue. Dans l'ensemble, la porosité est fissurale (68 μm à 675 μm de diamètre), avec quelques chambres (450 μm à 2300 μm de diamètre) et chenaux (360 μm à 1200 μm de diamètre). L'activité faunique est marquée par la présence de pores d'entassement (1620 μm à 5400 μm de diamètre). L'organisation plus massive de cette unité tranche fortement avec celle de l'UMH Ap2(tl) contiguë de la couche labourée. Cette rupture soudaine, dans l'organisation du profil cultural, peut présenter un obstacle à la croissance normale des racines du maïs.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

Figure I.2.1 : Localisation du site d'étude.

Figure I.2.2 : Les caractéristiques pluviométriques de Bécédi et du site.

Figure I.2.3 : Limite de la sous-préfecture de Sikensi et localisation du site d'étude.

Figure I.2.4 : Carte des unités pédologiques et localisation des parcelles étudiées.

Figure I.2.5 : Schéma des profils pédologiques en fonction de leur position dans les unités de sol.

Figure II.1.1 : Comparaison de profils pénétrométriques de 1992.

Figure II.1.2 : Evolution de l'indice d'instabilité structurale des différents traitements, de 1991 à 1993

Figure II.1.3 : Evolution des paramètres chimiques du sol entre 1991 et 1994 selon le mode de défrichement.

Figure II.1.4 : Effet de la teneur en carbone sur l'indice d'instabilité structurale

Figure II.1.5 : Comparaison du développement racinaire du maïs des différentes parcelles en fonction de la profondeur et de l'année; a- Effet de la profondeur sur le poids (g/100 g de sol) de racines de maïs de 1991 à 1994; b- Développement racinaire (g/100g de sol) du maïs de 0 à 30 cm du sol en fonction des traitements de 1991 à 1994; c- Effet du labour sur le développement racinaire.

Figure II.1.6 : Répartition de la densité de macrofaunes (individus/m²) en fonction de la profondeur.

Figure II.2.1 : Quelques caractéristiques analytiques des volumes pédologiques, immédiatement après les défrichements.

Figure II.2.2 : Caractéristiques analytiques des types de surface en 1994.

Figure II.2.3 : Relations entre l'enracinement, l'aspect végétatif et la production du maïs.

Figure II.3.1 : Cartes de différenciation morphologique du profil sous forêt témoin (1) et sa répartition racinaire (1'), des profils culturaux (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) et la distribution des racines de maïs (2', 3', 4', 5', 6', 7', 8') pour les six situations de parcelles cultivées.

Figure II.3.2 : Notion schématique du rayon d'accès d'un pore.

Figure II.3.3 : Pourcentage volumique des éléments grossiers (EG) en fonction de leur teneur pondérale.

Figure II.3.4 : Répartition porale des éléments grossiers (EG).

- Figure II.3.5 : Influence des teneurs pondérales en éléments grossiers (EG) sur la porosité des unités morphologiques homogènes (UMH); a- Influence des teneurs en EG sur la porosité (Hg); b- Influence des teneurs en EG sur la porosité matricielle; c- Influence des EG sur la porosité des UMH.
- Figure II.3.6 : Différence de valeur entre la porosité totale (n) obtenue par la méthode des densités et la porosité (Hg) obtenue par intrusion de mercure au porosimètre.
- Figure II.3.7 : Courbe d'intrusion cumulée et spectre poral (dV/dlogD) de l'horizon A12 sous témoin forestier.
- Figure II.3.8. Distribution porales des unités morphologiques homogènes (UMH) selon les traitements en condition de labour.
- Figure II.3.9 : Impact du défrichement et de la mise en culture avec ou sans labour sur l'espace poral.
- Figure II.3.10 : Comparaison de l'effet du défrichement sur la distribution porale des horizons en place des différents traitements sans labour.
- Figure II.3.11 : Comparaison des spectres poraux des UMH Ap1 des parcelles labourées à l'horizon de surface A12 sous forêt.
- Figure II.3.12 : Comparaison du spectre poral de l'UMH A2 (tl) de la parcelle TL à celui de A2 (ts) de la parcelle non labourée (TS).
- Figure II.3.13 : Comparaison du spectre poral de l'UMH Ap2 (ml)c compacte de ML à celui de A1 (ms) de surface sur la parcelle non labourée (MS).
- Figure II.3.14 : Effet de la mise en culture sans (a) ou avec (b) labour sur les caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH) pour les six situations étudiées.
- Figure II.3.15 : Effet du labour sur les caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH).
- Figure II.3.16 : Influence de la résistance à la pénétration (RMP) sur l'enracinement (Racines/dm²) du maïs dans les unités morphologiques homogènes (UMH).
- Figure 17 : Classification des pores en fonction de leur diamètre, leurs fonctions hydriques et biologiques, les différentes méthodes d'évaluation et localisation UMH étudiées suivant les classes dominantes.

TABLEAUX

Tableau I.1.1 : Différents modes de défrichement recensés dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire.

Tableau I.2.1 : Valeurs de résistance à la pénétration et de perméabilité du sol étudié.

Tableau I.2.2 : Granulométrie et propriétés chimiques initiales du sol étudié.

Tableau I.2.3 : Principaux systèmes de culture à Bécédi.

Tableau I.2.4 : Densité de plantation des cultures.

Tableau I.2.5 : Combinaison des modes de défrichement et de travail du sol dans chacun des trois blocs.

Tableau I.2.6 : Doses d'engrais (kg/parcelle 200m²/an) apportées lors de la mise en culture du maïs de 1991 à 1994.

Tableau II.1.1 : Valeurs moyennes de la densité apparente dans les horizons 0-20 cm du sol des différents traitements, immédiatement après les défrichements et de 1991 à 1994.

Tableau II.1.2 : Evolution de la résistance à la pénétration des traitements selon les années 1991, 1992 et 1994 entre 0-20 cm du sol.

Tableau II.1.3 : Effet des défrichements sur la résistance mécanique à la pénétration dans les 0 - 20 cm du sol.

Tableau II.1.4 : Effet des traitements, du mode de travail, du billon et de l'interbillon sur la résistance à la pénétration entre 0-20 cm du sol, de 1991 à 1994.

Tableau II.1.5 : Composantes de stabilité structurale pour toutes les situations confondues dans les 0 - 20 cm du sol de 1991 et 1993.

Tableau II.1.6 : Valeurs moyennes de l'indice d'instabilité structurale (IS) des 0-20 cm du sol selon le mode de défrichement de 1991 à 1993

Tableau II.1.7 : Valeurs moyennes de l'indice d'instabilité structurale (IS) des 0-20 cm du sol selon le mode de travail du sol de 1991 à 1993

Tableau II.1.8 : Comparaison de l'augmentation de valeurs des paramètres physiques du sol dans les 0 - 20 cm du sol au bout des quatre années de mise en culture (1994), par rapport à leurs valeurs initiales sous forêt ou à partir du défrichement (1991).

Tableau II.1.9 : Comparaison de teneurs en carbone et en azote entre 1991 et 1994, en fonction des traitements dans les 0 - 20 cm du sol.

Tableau II.1.10 : Etat chimique du sol selon les défrichements en 1991 et après quatre années de mise en culture en 1994.

Tableau II.1.11 : Rendement (t/ha) en grains secs de maïs, selon les traitements, de 1991 à 1994.

Tableau II.1.12 : Rendement (t/ha) en grains du maïs selon le mode de défrichement, de 1991 à 1994.

Tableau II.1.13 : Rendement (t/ha) en grains du maïs selon le mode de travail du sol de 1991 à 1994.

Tableau II.1.14 : Production (t/ha) de biomasse sèche de maïs, selon les traitements, de 1991 à 1994.

Tableau II.1.15 : Variation pondérale (g/100g de sol) de l'enracinement du maïs selon les traitements de 1991 à 1994

Tableau II.1.16 : Comparaison du poids de racines (g/100g de sol) des différents modes de défrichement de 1991 à

Tableau II.1.17 : Comparaison du poids de racines dans les 0-30 cm du sol selon le mode de travail de 1991 à 1994

Tableau II.1.18 : Comparaison des rendements et de l'enracinement des traitements en 1994

Tableau II.1.19 : Densité moyenne de macro-invertébrés (individu/m²) à partir de 10 sondages par parcelle sur 30 cm de profondeur.

Tableau I.1.20 : Répartition des nids de termites sur les parcelles expérimentales.

Tableau II.1.21 : Synthèse de l'influence des pratiques culturales (défrichement et travail du sol) sur les paramètres du sol et ceux de la plante au terme des quatre années d'expérimentation en 1994.

Tableau II.2.1 : Surface du sol occupée par les souches après défrichement traditionnel (T).

Tableau II.2.2 : Taux d'occupation des types de microreliefs après défrichements semi-mécanisé et mécanisé.

Tableau II.2.3 : Types de surfaces des parcelles semi-mécanisées et mécanisées sans labour (SS et MS) et labourées (SL et ML) en fin de campagne 1994.

Tableau II.2.4 : Paramètres de fertilité des 0-20 cm du sol selon les types de surface après quatre années de culture en 1994.

Tableau II.2.5 : Comparaison de paramètres de fertilité des 0-20 cm du sol des microreliefs issus du défrichement en 1991 à ceux des types de surface après quatre années de culture en 1994.

Tableau II.2.6 : Comparaison des diamètres et hauteurs des plants de maïs entre les traitements

Tableau II.2.7 : Comparaison de diamètre et hauteur des plants de maïs des différents modes de défrichement.

Tableau II.2.8 : Comparaison de diamètre et hauteur des plants de maïs des différents modes de travail du sol.

Tableau II.2.9 : Taux de levée et taux d'occupation des deux types de plants (PC et PV) du maïs de 1993 à 1994 selon les traitements.

Tableau II.2.10 : Répartition des types de plants de maïs selon les états de surface

Tableau II.2.11 : Poids de racines (0-30 cm du sol), de tige et de l'épis des plants chétifs (PC) ou de plants vigoureux (PV) de maïs de 1993 à 1994.

Tableau II.2.12 : Poids de racines (0-30 cm du) du maïs selon le t type de pieds et effet du mode de travail du sol de 1993 à 1994.

Tableau II.3.1 : Classification des UMH selon leurs caractères structuraux et leur cohésion.

Tableau II.3.2 : Valeurs de résistance moyenne à la pénétration (RMP) des unités morphologiques homogènes.

Tableau II.3.3 : Différentes classes de valeurs de résistance moyenne à la pénétration (en Kg/cm²) selon les unités morphologiques homogènes.

Tableau II.3.4 : Caractéristiques porales des unités morphologiques homogènes (UMH), par la méthode des densités.

Tableau II.3.5 : Les valeurs de porosité totale (n), sur mottes de 5 cm de diamètre, des unités morphologiques homogènes (UMH) selon les teneurs en éléments grossiers: a- pour les teneurs en EG>30% ; b- pour les teneurs en EG<30% .

Tableau II.3.6 : Les valeurs de porosité (Hg) des UMH selon les teneurs en éléments grossiers (EG) sur les échantillons de 2 à 3 cm³ de volume: a- teneurs en EG>40% ; b- teneurs en EG<40% .

Tableau II.3.7 : Comparaison entre les classes de pore observées et celles fonctionnelles définies par Chamayou et Legros (1989) et par Kay (1990).

Tableau II.3.8 : Répartition de la porosité (cm³ /g) selon différentes classes de diamètre poral

Tableau II.3.9 : Répartition des unités morphologiques homogènes selon les critères d'organisation microstructurale.

Tableau II.3.10 : Valeurs de densité racinaire des unités morphologiques homogènes (UMH).

Tableau II.3.11 : Différentes classes de valeurs de densité racinaire (Racines/dm²) selon les unités morphologiques homogènes (UMH).

PLANCHES

Planche 1 : Etat des parcelles selon le mode de défrichement

Planche 2: Gestion des résidus de récolte. Développement des plants de maïs selon les types de zones

Planche 3: Organisation des profils du sol selon les situations étudiées

Planche 4 Organisation micromorpho-logique des UMH au microscope optique

Planche 5 Organisation micromorpho-logique des UMH au microscope optique

Planche 6: Organisation micromorpho-logique des UMH au microscope optique

Planche 7: Ultrastructure du sol au MEB

Planche 8: Ultrastructure du sol au MEB

ANNEXES

Annexe 1 : Les caractères morphologiques des unités de sol

Annexe II.1.1 : Valeurs moyennes de résistance à la pénétration en fonction de la profondeur.

Annexe II.1.2 : Composantes de stabilité structurale (fin de campagne 1991).

Annexe II.1.3 : Composantes de stabilité structurale (fin de campagne 1993).

Annexe II.1.4 : Résultats d'analyses granulométriques des différentes parcelles après les défrichements.

Annexe II.1.4' : Caractéristiques chimiques des parcelles immédiatement après les défrichements.

Annexe II.1.5 : Composantes de rendement du maïs de 1991 à 1994.

Annexe II.1.6 : Distribution des racines (g/100g de sol) du maïs de 1991 à 1994.

Annexe II.1.7 : Tableau des densités moyennes (caractères gras) et écart-types (en petits caractères) de macro-invertébrés (ind./m²) selon la profondeur.

Annexe II.2.1 : Etats de surface et répartition des types de plants de maïs.

Annexe II.2.2 : Evaluation des types de microreliefs sur les parcelles semi-mécanisées (S) et les parcelles mécanisées.

Annexe II.2.3 : Quelques caractéristiques analytiques des volumes pédologiques identifiés immédiatement après défrichement semi-mécanisé et mécanisé en avril 1991.

Annexe II.2.4 : Caractéristiques analytiques des types de surface après quatre années de mise en culture.

Annexe II.2.5 : Taux d'occupation des types de plants selon les états de surface.

Annexe II.2.6 : Poids moyens de l'épi, de la tige et de racines selon le type de plants des différentes parcelles.

Annexe II.3.1 : Description détaillée des profils culturaux.

Annexe II.3.2 : Principes des déterminations porales

Annexe II.3.3 : Caractéristiques porales des éléments grossiers (EG) dans les UMH.

Annexe II.3.4 : Caractéristiques porales déterminées par la méthode des densités et au Porosimètre à mercure (Hg) des unités morphologiques homogènes (UMH).

Annexe II.3.5 : Etude détaillée de la micromorphologie des UMH.

Les opinions exprimées dans ce document
n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs

Ce travail de recherche a été effectué au sein du Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés du centre de recherche Orstom de Montpellier sous la direction de Roland MOREAU, directeur de recherche, pour l'obtention par Joséphine AMA TAMIA du doctorat de l'université Paris XII-Val-de-Marne, spécialité Sciences du sol, le 10 juillet 1997.

Modifications physiques d'un sol ferrallitique sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière. Conséquences sur le développement du maïs.

RESUME

La Côte d'Ivoire connaît une régression rapide de sa forêt sous l'effet de l'extension des défrichements, et des terres, dégradées et incultes, laissées à l'abandon après seulement quelques années de culture. La raison en est que les systèmes agricoles traditionnels et les systèmes mécanisés existants s'avèrent insuffisamment productifs ou trop dégradants pour les sols. De ce fait, ils ne permettent pas d'assurer, de façon soutenue, les productions agricoles nécessaires dans le contexte démographique et socio-économique actuel.

La recherche de modes de défrichement et de mise en culture mieux adaptés est une nécessité absolue pour réduire la pression sur les terres et l'extension de la déforestation. Dans cette perspective, ce travail s'efforce de préciser la nature et l'importance des effets de trois modes de défrichement (traditionnel, semi-mécanisé, mécanisé) et trois types de travail du sol (sans labour, labour superficiel, labour profond), les plus courants, sur les modifications de l'état physique du sol et sur le développement du maïs, après quatre années de culture en Basse Côte d'Ivoire (Bécédi : Site IBSRAM).

L'étude est conduite de façon stratifiée, avec trois principaux niveaux d'analyse : parcelle, zones de différenciations intraparcellaires et profil cultural. Elle privilégie l'analyse des modifications morpho-structurales et leurs conséquences sur l'enracinement et la production de maïs.

En l'absence de labour, il est mis en évidence l'effet négatif des défrichements mécanisés par rapport au traditionnel, à cause d'une dégradation accentuée de la structure et du spectre poral, réduisant l'enracinement à la partie supérieure du sol et la production du maïs.

Le labour atténue l'effet négatif du défrichement mécanisé sur le développement des racines, en raison du volume plus important de sol meuble. Cependant, du fait du taux de levée plus faible et de l'hétérogénéité spatiale existante, avec des zones décapées peu fertiles, le rendement moyen du maïs sur parcelles mécanisées labourées n'est pas supérieur à celui des autres traitements.

Malgré les difficultés dues à la présence d'éléments grossiers en proportion variable dans le sol étudié, il se dégage une grande cohérence entre les modifications physiques (ainsi que chimiques et biologiques) du sol apparaissant à différents niveaux d'échelle (jusqu'au niveau des micro-organisations) et les caractères de la culture du maïs, en fonction des contraintes imposées par les différents types de mise en culture qui ont été comparés.

Selon les situations d'application envisagées (catégories d'agriculteurs, types de cultures, ...), des recommandations différentes sont formulées pour s'opposer à la dégradation de l'état du sol pendant et à la suite des défrichements de forêt.

MOTS CLES : Côte d'Ivoire, défrichement, labour, évolution, micromorphologie, porosité, enracinement, physique du sol, sol ferrallitique, maïs, profil cultural.